

Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung  
der Justus Liebig-Universität Gießen  
Direktor: Professor Dr. E. Schönhals

---

**Die Depotstreifendüngung, ein Verfahren  
zur Behebung des Kalium-Mangels der Rebe  
auf Lößstandorten**

**DISSERTATION**

zur Erlangung des Doktorgrades  
der Landwirtschaftlichen Fakultät  
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von  
**Diplomlandwirt Matthias Budig**  
geboren in Jena/Thür.

Gießen 1970







Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung  
der Justus Liebig-Universität Gießen  
Direktor: Professor Dr. E. Schönhals

---

**Die Depotstreifendüngung, ein Verfahren  
zur Behebung des Kalium-Mangels der Rebe  
auf Lößstandorten**

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades  
der Landwirtschaftlichen Fakultät  
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von  
**Diplomlandwirt Matthias Budig**  
geboren in Jena/Thür.

Gießen 1970

Aus dem Institut für Botanische und Botanische  
der Julius-Liebig-Universität Gießen  
Doktor: Professor Dr. E. Schönhalz

Die Bedeutung der Kulturen, ein Verfahren  
zur Bestimmung des Kalium-Mangels der Kulturen  
an Kulturen

# DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades  
der Landwirtschaftlichen Fakultät  
der Julius-Liebig-Universität Gießen



- Dekan: Professor Dr. R. Waßmuth  
1. Berichterstatter: Professor Dr. E. Schönhalz  
2. Berichterstatter: Professor Dr. W. Gruppe

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Oktober 1970

Gießen 1970

# INHALTSVERZEICHNIS

|                                                                                                            | Seite |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1. Einleitung und Problemstellung                                                                          | 1     |
| 2. Literaturübersicht                                                                                      | 3     |
| 2.1. Auftreten und Verbreitung des Kalium-Mangels                                                          | 3     |
| 2.2. Schadbild des Kalium-Mangels                                                                          | 5     |
| 2.3. Kalium-Fixierung                                                                                      | 8     |
| 2.4. Maßnahmen zur Behebung des Kalium-Mangels                                                             | 12    |
| 3. Eigene Untersuchungen                                                                                   | 15    |
| 3.1. Laboratoriums-Untersuchungen an Bodensäulen zur vertikalen Beweglichkeit des Kaliums in einem Lößlehm | 15    |
| 3.1.1. Material und Methoden                                                                               | 15    |
| 3.1.2. Ergebnisse                                                                                          | 17    |
| 3.1.3. Besprechung                                                                                         | 25    |
| 3.2. Kalium-Tiefendüngung - Depotstreifendüngung - im Feldversuch                                          | 29    |
| 3.2.1. Material und Methoden                                                                               | 29    |
| 3.2.1.1. Standortbeschreibung                                                                              | 29    |
| 3.2.1.2. Versuchsplanung und -ausführung                                                                   | 41    |
| 3.2.1.3. Untersuchungsmethoden                                                                             | 51    |
| 3.2.2. Einfluß der Tiefendüngungsmaßnahme auf die physikalischen Bodeneigenschaften                        | 54    |
| 3.2.2.1. Porengrößenverteilung                                                                             | 54    |
| 3.2.2.2. Bodenwiderstand                                                                                   | 64    |
| 3.2.3. Einfluß der Tiefendüngung auf die Kalium-Verteilung im Bodenprofil der Rebasse                      | 92    |
| 3.2.4. Kalium-Bedarf von Unterböden                                                                        | 110   |

|                                                                                                                                               | Seite |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 3. 2. 5. Reaktion der Rebe auf die Kalium-Tiefendüngung                                                                                       | 115   |
| 3. 2. 5. 1. Kalium-Aufnahme durch die Rebe                                                                                                    | 115   |
| 3. 2. 5. 2. Traubenertrag                                                                                                                     | 119   |
| 3. 2. 6. Besprechung                                                                                                                          | 121   |
| 3. 3. Einfluß einer gesteigerten Kalium-Düngung auf Wurzel-<br>wachstum und Entwicklung von Reben unterschiedlichen<br>Alters im Gefäßversuch | 131   |
| 3. 3. 1. Material und Methoden                                                                                                                | 131   |
| 3. 3. 2. Stecklingsreben                                                                                                                      | 140   |
| 3. 3. 3. Pfropfreben                                                                                                                          | 141   |
| 3. 3. 4. Topfreben                                                                                                                            | 155   |
| 3. 3. 5. Konzentration der Bodenlösung                                                                                                        | 160   |
| 3. 3. 6. Besprechung                                                                                                                          | 161   |
| 4. Diskussion                                                                                                                                 | 164   |
| 5. Zusammenfassung                                                                                                                            | 175   |
| 6. Literaturverzeichnis                                                                                                                       | 178   |

## 1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Wie eine Vielzahl von Untersuchungen gezeigt hat, ist eine befriedigende Behebung von Kalium-Mangelschäden in Rebanlagen auf kaliumfixierenden, im Unterboden kaliumarmen Böden durch eine Oberflächen-, Lanzen- oder Blattdüngung allein nicht möglich. Eine Rodung der häufig noch jungen Reben und das tiefe Einrigolen einer angemessenen Vorratsdüngung scheidet aus Kostengründen ebenso aus. Es ergibt sich daher die Forderung, ein rationelles Verfahren zu finden, welches erlaubt, unter Umgehung des Oberbodens, ohne der Rebe ernstlich zu schaden, dem Unterboden Kalium in solcher Menge zuzuführen, daß die Kalium-Aufnahme der Rebe dadurch wesentlich gesteigert wird.

Der angeführte Kalium-Mangel der Rebe beruht in erster Linie auf der geringen vertikalen Beweglichkeit des Kaliums. Daher wurden zunächst Laboratoriumsversuche mit Bodensäulen in 4 Serien angestellt, welche Aufschluß über die Geschwindigkeit und das Ausmaß der vertikalen Kalium-Verlagerung geben sollten. Die Versuchsanstellung machte eine besondere Vorbehandlung des Bodens notwendig, welche beschrieben wird.

Zur Plazierung des Kaliums direkt in den Unterboden wurde die Arbeitshypothese des "Depotstreifens" entwickelt. Unter diesem ist ein begrenzter Unterbodenbereich in Gassenmitte zu verstehen, welcher unter Einsatz eines Lockerungsschwertes stark mit Kalium aufgedüngt wird. Die Anlage eines Depotstreifens wurde an 2 Standorten unter Einschaltung von 3 Kalium-Düngungsstufen im Feldversuch ausgeführt und mit der praxisüblichen Oberflächendüngung bzw. der Oberflächendüngung nach vorausgehender Lockerung verglichen. Während 3 Versuchsjahren wurden die Auswirkungen dieser Methode der Kalium-Plazierung auf Porenvolumen, Bodenwiderstand und Kalium-Verteilung im Bodenprofil der Rebgarbe untersucht. Ferner wurden die Auswirkungen dieser Maßnahmen auf den Kalium-Gehalt der Rebe und deren Ertragsbildung erfaßt. Zur Darstellung der Werte des Bodenwiderstandes

wird eine neue, relative Form der Auswertung angewandt. An 3 kaliumarmen Unterböden verschiedener Herkunft wird deren Unterschiedlicher Kalium-Bedarf in Abhängigkeit vom Tongehalt und der bereits vorhandenen Kalium-Belegung aufgezeigt.

Die erforderliche starke Aufdüngung des Depotstreifens mit Kalium wirft die Frage auf, welche Menge an Laktat-Kalium bzw. welche Kalium-Konzentration der Bodenlösung von der Rebwurzel eigentlich vertragen wird. Ferner ist in diesem Zusammenhang zu klären, welchen Einfluß die lediglich durch einen Teil des Wurzelsystems erfolgende Kalium-Aufnahme auf diesen selbst und die übrigen Wurzeln ausübt. Diese Fragen wurden in Kaliumsteigerungs-Gefäßversuchen mit Reben mehrerer Sorten und unterschiedlichen Alters u. a. mit der Methode des geteilten Wurzelsystems untersucht. Neben der Erfassung der Trockensubstanzbildung aller Pflanzenorgane in Abhängigkeit von der gesteigerten Kalium-Düngung erfolgte auch die Bestimmung des Kalium-Gehaltes, der Kalium-Aufnahme, des Magnesium-Gehaltes und der Magnesium-Aufnahme der Reben. Somit wird auch die Wechselwirkung der Antagonisten Kalium und Magnesium erfaßt.

## 2. LITERATURÜBERSICHT

### 2.1. Auftreten und Verbreitung des Kalium-Mangels

Kalium-Mangelerscheinungen an Reben sind bereits seit Jahrzehnten bekannt und werden von WAGNER (1907), HERSCHLER (1933), WILHELM (1950) und GÄRTEL (1958a, 1958b, 1959a) beschrieben. Besonders stark und weit verbreitet sind diese Schäden 1959, 1962 und 1964 und hier insbesondere auf Lößstandorten des Rheingaus, Rheinhessens, der Pfalz und Badens, sowie der unteren pleistozänen Terrasse des Moseltales aufgetreten. Die Kalium-Mangelerscheinungen erwiesen sich in vielen Fällen als besonders schwer auf solchen Böden, welche vor Anpflanzung der Reben Grünland, Ackerland oder Unland gewesen bzw. im Zuge von Flurbereinigungsmaßnahmen durch Planierungsarbeiten tiefgreifend umgestaltet worden waren. Aber auch auf seit langem weinbaulich genutzten Flächen traten bevorzugt bei der Rebsorte Müller-Thurgau auf der Unterlage Kober 5 BB Kalium-Mangelschäden auf (GÄRTEL 1964, HILLEBRAND 1965, KADISCH 1965, PLATZ 1965 und MAY und BECKER 1968). Verallgemeinernd läßt sich sagen, daß sich seit Einführung des Pfropfrebenanbaues trotz verstärkter Düngung das Problem des Kalium-Mangels verschärft hat und man Kalium-Mangelerscheinungen alljährlich mehr oder weniger ausgeprägt und verbreitet beobachten kann.

Worauf ist nun diese Tatsache zurückzuführen? Wie STURM und BEETZ (1968) ausführen, hat die Umstellung des Weinbaues von der wurzelechten Rebe auf die Pfropfrebe die Erträge, und somit auch den Kalium-Bedarf der Trauben, verdreifacht. Zudem wurzeln die Pfropfreben wesentlich tiefer und entwickeln ihr Wurzelsystem nach KEES (1963), HUSCHKA (1963) und FADER (1967) am unteren Knoten des Unterlagenreises. D. h., die Wurzelentwicklung erfolgt unterhalb der mit Nährstoffen allgemein gut versorgten Krume in 20 - 30 cm Bodentiefe. Während die wurzelechte Rebe ihren Nährstoffbedarf weitgehend dem Oberboden zu entnehmen vermag, er-

erfüllt dieser der Pflanzrebe gegenüber seine Aufgabe als Nährstofflieferant nur sehr unvollständig. Der im Laufe der Jahre mit Nährstoffen angereicherte Oberboden ist vielfach erst für die nächste Rebengeneration direkt von Nutzen, sobald er durch das Rigolen in tiefere Bodenbereiche verlagert wird. Erfolgt hierbei jedoch eine stärkere Vermischung mit nährstoffarmem Unterboden, tritt nach BRAUER (1966) eine "Verdünnung" ein und der Nährstoffeffekt verringert sich. Die ausschlaggebende Bedeutung des Unterbodens für die Ernährung der Pflanzrebe wurde häufig von der Praxis noch nicht voll erkannt. So erfolgte in vielen Fällen die unbedingt notwendige Anreicherung des Unterbodens insbesondere mit Kalium, aber auch mit Phosphor und Magnesium im Rahmen der Vorratsdüngung nur unzureichend (POHL 1967). Die zu fordernden hohen Werte an austauschbaren Nährstoffen wurden nicht annähernd erreicht. HUSCHKA (1963) berichtet von besonders starkem Kalium-Mangel in sogenannten "Ackerwingerten" und stellt selbst in Anlagen mit 110 mg  $K_2O$ /100 g Boden in der Krume von 0 - 30 cm und 11 mg  $K_2O$  im Unterboden von 30 - 60 cm Tiefe noch Kalium-Mangelschäden fest. Somit ist die Pflanzrebe besonders in Trockenperioden allein auf die verfügbaren Nährstoffe des Unterbodens angewiesen. Reichen diese nicht aus und herrscht stärkerer Wassermangel, so gelangen die Mangelsymptome mit all ihren negativen Folgen zur Ausbildung (BUCHER 1964).

Die für den gesamten Wurzelbereich anzustrebenden laktatverfügbaren Kalium-Werte werden von BUCHER (1968) mit 40 mg, von GÄRTEL (1970), WALTER (1970) und KÜMMERER (1970) mit 40 - 50 mg und von WILHELM (1954), BUXBAUM (1956), MAY (1967), HANNEMANN (1968), STURM und BEETZ (1968), PLATZ (1969) und MAY und BECKER (1968) mit 50 mg  $K_2O$ /100 g Boden angegeben. Nach BECKER (1964) und TRIEB und BECKER (1969) ist das Nährstoffaufnahmevermögen der im Weinbau verwendeten Unterlagen verschieden. So erzeugten schwachtriebige Unterlagen vom Typ Dr. Decker-Rebe bei der Sorte Müller-Thurgau in Adaptionenversuchen starke Kalium-

Mangelsymptome, während solche bei Verwendung stark wachsender Unterlagen ausblieben.

## 2.2. Schadbild des Kalium-Mangels

Eine unzureichende Kalium-Versorgung infolge geringer Werte austauschbaren Kaliums im Boden führt bei der Rebe zu charakteristischen Veränderungen an den Blättern. Diese werden in zahlreichen Arbeiten von WAGNER (1907), GÄRTEL (1958, 1958 a, 1959 a, 1960, 1962, 1964, 1966), WILHELM (1964), KADISCH (1965 a), COOK (1966) und HANNEMANN (1968) beschrieben und lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Je nach dem Entwicklungsstadium in dem sich die Blätter der Rebepflanze zum Zeitpunkt des einsetzenden Kalium-Mangels befinden, treten an diesen Nekrosen oder oberflächliche Bräunungen der Spreite auf. Bei frühzeitig in der Vegetationsperiode auftretendem Mangel stellen sich Nekrosen ein, welche schon vor der Rebblüte als Punkt- oder Flächennekrosen auftreten können. Sie beginnen bei Weißweinsorten zunächst mit chlorotischen Aufhellungen der Blätter vom Rande her und bei Rotweinsorten mit einer rötlichen Bronzeverfärbung. Diese Merkmale breiten sich zur Blattmitte hin aus. Der Blatt- rand wölbt sich nach oben und verdorrt. Die Blätter zerbröckeln und fallen, besonders bei reichem Behang, noch vor der Reife ab. Unter Umständen setzt ein schwacher Neutrieb an den entblätterten Trieben ein.

Bei milderer Form des Kalium-Mangels, dem sogenannten "verdecken Mangel", treten die dafür charakteristischen violettbraunen, oberseitigen Blattverfärbungen erst später und besonders in trockenen Jahren auf, sobald die Beeren weich zu werden, d. h. zu reifen beginnen. Zu diesem Zeitpunkt benötigen die Trauben erhöhte Kalium-Mengen. Können diese durch die Wurzeln nicht aus dem Boden zur Verfügung gestellt werden, beginnt eine Kalium-Translokation aus den Blättern der Traubenzone in die Beeren. Diese sind



Abbildung 1

Kalium-Mangelsymptome einer 4jährigen Spätburgunder-Rebe am 17. 9. 1968 bei Kalium-Mangel im Unterboden auf einer Roh-Löß-Terrasse der Gemeinde Gottenheim (Tuniberg), Lage "Bucheltal".



Abbildung 2

Starke Nekrosen infolge Kalium-Mangel an Blättern 4jähriger Spätburger-Reben am 17. 9. 1968.

nach DJABARIAN (1970) als dominierende Attraktionszentren innerhalb der Gesamtrebe zu bezeichnen. Sobald der Kalium-Spiegel der Blätter einen bestimmten Kalium-Minimalwert unterschreitet, sterben die oberen Zellschichten der Spreiten, seltener auch das Palisadenparenchym, ab. Dadurch wird zunächst ein Lackglanz und dann die typische Violettfärbung und spätere Bräunung (black-leaf, brunissure) verursacht. Auch dieser Vorgang beginnt am Blattrand und bewirkt durch die fortschreitende Ausbreitung zur Blattmitte hin eine mehr oder minder starke Blattzerstörung (Abb. 1, 2). Die visuell erkennbaren Kalium-Mangelsymptome treten in gleicher Weise bei labrusca- und vinifera-Sorten auf. Durch den Kalium-Entzug über das Phloem werden die physiologischen Prozesse des Blattes unterbrochen. Hierdurch, und durch den verringerten Kalium-Gehalt auch in den übrigen Pflanzenorganen, beobachtet man an Kalium-Mangel-Reben außerdem Kümmerwuchs, Kleinblättrigkeit, Kleinbeerigkeit und geringe Erträge bei verspäteter Ernte und verminderter Qualität. Außerdem altern die Stöcke vorzeitig und sterben häufig ab.

Nach BONARD (1969) ist der Kalium-Gehalt des Sprosses direkt mit dessen photosynthetischer Leistung korreliert. HARTT (1969, 1970) stellt fest, daß das  $K^{+}$ -Ion von essentieller Bedeutung für den Abtransport der Assimilate aus den Blättern ist und dieser Vorgang schon bei suboptimaler Kalium-Versorgung vor Eintreten sichtbaren Kalium-Mangels behindert ist. Übereinstimmend weisen LAGERWERFF (1961), STUTZ (1963), BOZHINOVA-BONEVA (1963), PEASLEE und MOSS (1966), COOPER et al. (1967), MARSCHNER (1968) und MENGEL (1968a) nach, daß mit steigender Kalium-Versorgung der osmotische Druck im Zellsaft ansteigt. Die Apertur der Stomata und die Netto-Photosyntheserate erhöhen sich bei gleichzeitiger Verminderung der Atmungsrate. Der Druckanstieg im Zellsaft bewirkt eine Zunahme des in der Pflanze gebundenen Wassers. Der hohe Kalium-Spiegel im Pflanzengewebe erhöht die Ausnutzung des Bodenwassers und ermöglicht in Verbindung mit einer verringerten Transpiration einen verbesserten

Wasserhaushalt (MENGEL und PFLÜGER 1969). Ebenfalls wird ein kräftigeres pflanzliches Stützgerüst ausgebildet, d. h. eine bessere Holzausreife bewirkt. Eine gute Holzausreife und ein hoher osmotischer Wert des Zellsaftes steigern die Widerstandskraft der Reben gegenüber Winterfrost (KOBAYASHI et al. 1963, KONDO 1963, HUSCHKA 1963, WILHELM 1964, MENGEL 1968a, PLATZ 1969), Trockenheit (STUTZ 1963, BOSIAN 1965, BOZHINOVA-BONEVA 1968, MARSCHNER 1968, PLATZ 1969) und Krankheit (Oidium) (GÄRTEL 1959, PLATZ 1969). Über die gesteigerte Netto-Photosyntheserate (SIEGEL und BJARSCH 1962) werden ferner Ertrag und Zuckergehalt des Mostes verbessert (KOBAYASHI et al. 1963, MÜNZ 1964, 1967, COOK 1966). Der erhöhte Kalium-Gehalt bewirkt ferner eine harmonische Abpufferung unreifer Säuren in Most und Wein und die typische Ausbildung des Sortencharakters (BUCHER 1968).

Da die Kalium-Versorgung der Reben die Ertragsleistung, Qualität und Ertragssicherheit des Weinbaus entscheidend beeinflusst, ist die Forderung von HUSCHKA (1963) gerechtfertigt, daß in der Nährstoffversorgung der Rebe keine Schwierigkeit eintreten darf, damit an der nördlichen Klimagrenze des Weinbaus jede günstige Witterung ausgenutzt werden kann. KEES (1963) formuliert diese Notwendigkeit in dem allgemein im Weinbau anerkannten Satz: "Die Pfropfrebe muß aus dem Vollen schöpfen können!"

### 2. 3. Kalium-Fixierung

Den hohen Nährstoffanspruch der Rebe ausreichend zu befriedigen, fällt in der Praxis nicht immer leicht. Nach GÄRTEL (1966) ist die Rebe zwar als ausgesprochen kaliumbedürftig anzusehen, da bei der Ausbildung der Blattmasse und der Ausreife der Trauben jeweils viel Kalium benötigt wird, die Pflanzenverfügbarkeit dieses Nährstoffs im Boden ist jedoch oft nur gering. WILHELM (1954, 1964), GÄRTEL (1959a), HUSCHKA (1963), KADISCH (1965b) u. a. weisen auf die geringe Wirkung langjährig oberflächlich verabreichter hoher

Düngergaben hin. Sie stellten durch solche Düngungsmaßnahmen auf Lehm-  
böden zwar eine Erhöhung des austauschbaren Kaliums im Oberboden, je-  
doch nur einen minimalen Anstieg im Unterboden fest. Die Wirkung auf die  
kalium-mangelkranken Reben war gering und stand in keinem Verhältnis zu  
der aufgewandten Nährstoffmenge. Das verabreichte Kalium hatte also den  
Hauptwurzelbereich der Rebe überhaupt nicht erreicht. Diese in der Praxis  
vielfach beobachtete Tatsache unterstreicht die große Wichtigkeit einer hohen,  
standortangepaßten Vorratsdüngung, welche bei dem tiefen Rigolen vor der  
Neuanlage der Weinberge anzuwenden ist. Nach KADISCH (1965 b) u. a.  
kann auf Lehm Böden selbst eine langjährige hohe Kalium-Düngung eine aus-  
reichende Vorratsdüngung nicht ersetzen. POHL (1967) kommt auf Rohlöss im  
Kaiserstuhl zu dem gleichen Ergebnis.

Das Phänomen, welches die geringe Bewegbarkeit des Kaliums im Boden und  
dessen vielfach nur ungenügende Ertragswirksamkeit verursacht, wird als Ka-  
lium-Fixierung bezeichnet. Es beruht auf den spezifischen chemo-physikali-  
schen Eigenschaften der im Boden vorhandenen Dreischicht-Tonminerale.  
EHLERS, GEBHARD und MEYER (1968) stellten fest, daß die in diesem Zu-  
sammenhang besonders wichtigen Löss- und Lösslehm Böden mit fixierenden Ei-  
genschaften über einen ähnlichen Tonmineralbestand verfügen. Dieser setzt  
sich nach NIEDERBUDDE (1965b) zusammen aus Illiten, Vermikuliten, Boden-  
montmorilloniten und deren Zwischenstufen unterschiedlichen Aufweitungs-  
und Kaliumverarmungsgrades. Das Expansionsvermögen dieser Tonminerale  
nimmt, wie EHLERS, GEBHARD und MEYER (1967) berichten, mit zunehmender  
Verwitterung und Kalium-Verarmung und abnehmender Ladungsdichte in  
den Zwischenschichten unter Vergrößerung der Basisflächenabstände und Er-  
höhung der Austauschkapazität zu. Gleichzeitig verringern sich das Vermögen,  
bei Kalium-Angebot zu kontrahieren und die Kalium-Selektivität. Je näher  
also ein an Kalium verarmtes Tonmineral in der Verwitterungsreihe vom Glim-  
mer zum Montmorillonit noch dem Illit steht, um so größer sind Kalium-Selek-  
tivität und Kontraktionsneigung, d. h. die Fähigkeit Kalium zu fixieren. Ka-  
lium gilt nach SCHROEDER (1955) konventionsgemäß dann als fixiert, wenn es  
so fest sorbiert wird, daß es von einer Neutralsalzlösung, z. B. einer 1 n -

Ammonium-Acetatlösung, nicht ausgetauscht werden kann. Wie BARSHAD (1954) berichtet, ist fixiertes Kalium jedoch weniger fest gebunden als ursprünglich in dieser Position vorhandenes natives Kalium. Dem nativen und fixierten, d. h. dem nicht austauschbaren Kalium, stehen wasserlösliches, austauschbares, bzw. nachlieferbares Kalium als in einem gewissen Zeitraum pflanzenaufnehmbar gegenüber. Die Bestimmung dieser und weiterer Kalium-Fractionen erfolgt mit vielfältigen Methoden, so daß sich deren Ergebnisse nur mehr oder weniger decken und den Boden und dessen Tonminerale unterschiedlich charakterisieren (WOOD und DE TURK 1941, KOLTERMANN und TRUOG 1953, FINCK 1957, REICHENBACH und SCHROEDER 1960, EGNER, RIEHM und DOMINGO 1960, TODORCIC 1964, NIEDERBUDDE 1963b, 1965, BLANCHET und BOSC 1967 u. a.). Bei der Kalium-Fixierung wird weiterhin unterschieden zwischen sogenannter nasser und trockener Fixierung. Der nassen Fixierung unterliegen nach YORK et al. (1953), NIEDERBUDDE (1963 a), NIEDERBUDDE und MARCKWORTH (1964) und TODORCIC (1964) die aus einer wässrigen Kalium-Lösung bestimmter Konzentration sorbierten Kalium-Ionen, welche anschließend durch Neutralsalzlösungen nicht kurzfristig zurückgetauscht werden können. Die trockene Kalium-Fixierung wird ermittelt, indem der Boden mit der Kalium-Vorlage bei 70° C eingetrocknet und anschließend der nicht mehr austauschbare Anteil derselben bestimmt wird. In Untersuchungen von RICHARDS und MC LEAN (1963) fixierten illitische Tonminerale nach Trocknung größere Kalium-Mengen als unter feuchten Bedingungen. Durch Wiederbefeuchtung nach Trocknung wurde die fixierte Menge nochmals erhöht. Die Fixierung größerer Kalium-Mengen verringerte bei WEAR und WHITE (1951) die Austauschkapazität, die Hydratation und Quellung sowie die weitere Fixierung der Tonminerale. Nach REICHENBACH (1957) weisen auch nicht aufgeweitete Tonminerale eine Kalium-Fixierung auf, sofern sie an Kalium verarmt sind, dieser Verlust aber noch keine Veränderung der Basisflächenabstände zur Folge hatte.

Nach SUMNER und BOLT (1962), BOLT et al. (1963), van SCHOUWENBURG

und SCHUFFELEN (1963), RICH und BLACK (1964), EHLERS, GEBHARDT und MEYER (1967), EHLERS, MEYER und SCHEFFER (1967) und EHLERS, GEBHARDT und MEYER (1968) lassen sich an Illiten und Illit-Hemiexpandit-gemischen drei verschiedene Bindungspositionen für das austauschbare Kalium feststellen und zahlenmäßig erfassen.

1. Die an der äußeren, planaren Oberfläche befindlichen, allen Ionen zugänglichen sogenannten "planar"- oder p-Positionen. Diese weisen eine starke Bevorzugung des Calcium-Ions gegenüber den Kalium-Ionen auf und haben daher unter natürlichen Bedingungen nur einen relativ geringen Anteil des austauschbaren Kaliums sorbiert. Der p-Kalium-Anteil ist von der insgesamt sorbierten Kalium-Menge abhängig, schließt das am Humus gebundene Kalium mit ein und ist leicht austauschbar.
2. Bindungsstellen an den randlichen, keilförmig aufgeweiteten Zwischenschichten mit spezifischer Affinität zu Kalium- und Ammonium-Ionen, den sogenannten "edge"- oder e-Positionen. Das e-Kalium ist um ein Vielfaches stärker sorbiert als Calcium. Die Menge des in e-Position gebundenen Kaliums ist düngungsabhängig. Durch einen Kalium-Verlust infolge natürlichen Kalium-Entzuges wird die Austauschkapazität der e-Position erhöht.
3. Zwischen den Mineralschichten befindliche sogenannte "interlattice"- oder i-Positionen. Diese weisen eine ausgeprägte, sterischbedingte Kalium- und Ammonium-Spezifität auf. Sie haben 40 - 85 % des austauschbaren Kaliums natürlich belegter Böden sorbiert. Diese Kalium-Menge ist nur ein Teil der insgesamt in i-Position gebundenen Kalium-Ionen. Unter Kalium-Mangelbedingungen ist die Selektivität der i-Positionen für Kalium erhöht.

Die prozentuale Belegung der verschiedenen Bindungsstellen mit Kalium nimmt von der p-, über die e- zur i-Position zu. Wird die Kalium-Konzentration der

Bodengleichgewichtslösung erniedrigt, so gibt zunächst die am wenigsten selektive Position Kalium ab und erst nach deren stärkerer Verarmung setzt die Kalium-Abgabe der nächst selektiveren Bindungsposition merklich ein. Mit zunehmender Umwandlung des Illits in aufweitbare Dreischicht-Tonminerale nimmt die Austauschkapazität der e- und i-Positionen, in geringerem Maße auch die der p-Position, zu. Der Anteil AK-e und AK-i an der Gesamtaustauschkapazität erlaubt Rückschlüsse auf das Aufweitungsverhalten der Dreischicht-Tonminerale und deren Fixierungsneigung.

DUTHION (1966) charakterisiert die Kalium-Spezifität der verschiedenen Bindungspositionen mittels der Gapon-Koeffizienten. Nach seinen Angaben hat die p-Position einen Gapon-Koeffizienten von etwa 2, die e-Position von etwa 100 und die i-Position einen solchen von mehr als 2000. Nach NEMETH et al. (1970) ergeben sich geringe Gapon-Koeffizienten in Sandböden mit hoher  $K^+$ -Konzentration der Bodenlösung infolge der wenig spezifischen Kalium-Bindungspositionen. Lehmig tonige Böden hingegen weisen sehr kaliumspezifische Bindungspositionen auf und verfügen infolgedessen über eine geringere Kalium-Konzentration in der Bodenlösung und einen höheren Gapon-Koeffizienten.

#### 2.4. Maßnahmen zur Behebung des Kalium-Mangels

Treten im Laufe der Vegetationsperiode an den Reben Kalium-Mangelerscheinungen auf oder sind diese zu erwarten, so kann ihnen, wie bereits dargelegt, durch eine Kalium-Oberflächendüngung nicht begegnet werden. Es kommen daher lediglich zwei andere Möglichkeiten in Frage, nämlich die direkte Nährstoffapplizierung auf das Blatt oder die gezielte Einbringung einer Kalium-Lösung in den Wurzelraum. Zur Injizierung gelöster Nährstoffe in den Wurzelbereich der Kulturpflanzen wurden spezielle Düngerlanzen entwickelt. Diese haben sich zwar nach GRUPPE (1954a), PFULB (1961) und BAROCCIO und PALIERI (1965/1966) generell bewährt, erfordern aber, wie GRAF (1968)

und PEER (1969) ausführen, einen unverhältnismäßig hohen Arbeitsaufwand,

Wie GRUPPE (1954a) feststellte, werden Baumwurzeln von 5- und 10 %igen Düngertlösungen, wie sie in belaubtem bzw. unbelaubtem Zustand der Pflanzen injiziert werden, nicht negativ beeinflusst. GÄRTEL (1957) empfiehlt für Reben in unbelaubtem Zustand eine 5 %ige und in belaubtem Zustand eine 3 - 5 %ige Nährlösung. Bei einer Injektion von 4 l Lösung pro Rebe und einem Bestand von 6000 Reben pro ha werden also 24 000 l Nährlösung benötigt. Damit wird verständlich, daß GRAF (1968) und PEER (1969) eine solche Düngungsmaßnahme aus arbeitswirtschaftlichen Gründen ablehnen. GÄRTEL (1957) konnte durch die Lanzendüngung Kalium-Mangel-Reben zu gutem Wachstum und normaler Traubenreife verhelfen. BAROCCIO und PALIERI (1965/1966) gelang es durch eine solche Maßnahme, die Erträge sowie die Trauben- und Mostqualität zu verbessern und eine gute Korrelation zwischen dem Kalium-Gehalt der Blätter und der Unterbodendüngung festzustellen. GRUPPE (1965) weist darauf hin, daß Bäume mit Kalium-Mangelerscheinungen eine schnelle Heilung zeigten, falls die Kalisalze tief in den Boden eingebracht wurden. Eine Lanzendüngung habe sich in solchen Fällen aber nur dann bewährt, wenn es gelang, das Kalium in die durchwurzelte Bodenschicht d. h. in direkten Kontakt mit den Wurzeln zu bringen. Versuche von PFULB (1961) befriedigten jedoch nicht. Zwar stellte auch er auf tonigem Lehm infolge der gelanzten Kalium-Düngung eine Verbesserung von Triebblängen, Stammdurchmesser und Bewurzelung an Jungbäumen gegenüber der Salzdüngung auf die Krume fest, konnte jedoch einen optimalen Kalium-Gehalt der Blätter auf diese Weise nicht erreichen. Trotz zweimaliger Gaben von je 530 kg  $K_2O$ /ha veränderte sich der Laktat-Kalium-Gehalt des Unterbodens in 20 - 30 cm Tiefe bei oberflächlicher Gabe überhaupt nicht und bei Lanzendüngung nur minimal. Auch PEER (1969) konnte in ausgedehnten Versuchen durch die Lanzendüngung eine signifikante Kalium-Anreicherung im Unterboden nicht erzielen. GRAF (1968) lehnt die Lanzendüngung deswegen ab, weil eine Termination bei Auftreten des Kalium-Mangels in Trockenzeiten nicht möglich ist.

Einen Überblick über die Möglichkeiten der Blattdüngung gibt BURKHARDT (1963a, 1963b). Er stellt fest, daß junge Blätter Mineralstoffe besser sorbieren als alte und dies bevorzugt bei Nacht, hoher Luftfeuchtigkeit und Temperaturen zwischen 15 und 25° C. An die Wasseraufnahme werden bei Blattdüngung höhere Anforderungen gestellt als bei Bodendüngung. Kalium kann sowohl als Nitrat, Chlorid und Sulfat in 1,5 - 2 %iger Lösung auf die Blätter appliziert werden. Nach Untersuchungen von LAFON et al. (1955) sorbieren die Blätter die Nährstoffe nur, solange diese sich in Lösung befinden. Es müssen daher je Gabe Lösungsmengen von 10 hl/ha bei mindestens 5maliger Anwendung ausgebracht werden, wenn ein merklicher Erfolg eintreten soll. Auch dieser Arbeitsaufwand ist beträchtlich. Daher stellten CLAUS und HEIMES (1963) erfolgreiche Versuche an, die Dünger den Spritzbrühen zur Schädlingsbekämpfung zuzusetzen. In ihren Versuchen mit Magnesium auf sandigem Boden waren allerdings erst 14 Spritzungen einer etwa gleichhohen Düngergabe auf den Boden überlegen. Man muß daher wie STURM und BEETZ (1968) zu dem Schluß kommen, daß die Blattdüngung kein Ersatz, sondern lediglich eine Ergänzung zur Bodendüngung sein kann.

### 3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

#### 3.1. Laboratoriums-Untersuchungen an Bodensäulen zur vertikalen Beweglichkeit des Kaliums in einem Lößlehm

##### 3.1.1. Material und Methoden

Zur Untersuchung der vertikalen Beweglichkeit des Kaliums in Bodensäulen fand Unterboden ( $R_2$ ) einer rigolten Löß-Parabraunerde des Standortes Essingen bei Landau aus einer Rebanlage mit Kalium-Mangelschäden Verwendung. Die wichtigsten Bodenkennwerte sind der Tabelle 14 zu entnehmen. Vor Verwendung wurde dieser Boden zunächst luftgetrocknet, gemörsert und  $<2,0$  mm abgesiebt. Eine probeweise Befüllung der zylindrischen Glassäulen mit dem so vorbehandelten Boden befriedigte jedoch nicht. Es traten Entmischungserscheinungen und damit Zonen unterschiedlich dichter Lagerung auf. Außerdem verschlammte der Säulinhalt bei Befeuchtung, und es bildeten sich Luftokklusionen. Um solche Fehler auszuschließen und eine homogene, reproduzierbare Befüllung zu ermöglichen, wurde eine Anregung von HOMRIGHAUSEN (1967) aufgegriffen.

Hiernach wird der  $<2,0$  mm abgesiebte Boden auf einer Folie in dünner Schicht ausgebreitet, mit wenig Wasser übersprüht und durch Anheben der Folienzipfel in rollende Bewegung versetzt. Durch die mehrfache Wiederholung des Vorgangs wird, unter langsamer Anfeuchtung auf ca. 15 - 20 Gew. % (bezogen auf Feuchtboden), die Bildung runder Bodenaggregate erreicht und die so sehr störende Fraktion  $<0,5$  mm nahezu eliminiert. Die veränderte Aggregatverteilung als Folge des Ansprühens mit Wasser ist in der Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1

Aggregatverteilung von Essinger Unterboden in Abhängigkeit von der Vorbehandlung (in %)

|           | gemörsert u.<br>$<2$ mm abgesiebt<br>(lufttrocken) | gemörsert u. $<2$ mm abgesiebt mit Wasser angesprüht und gerollt (15 % $H_2O$ bez. auf Feuchtbod.) |
|-----------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $> 2$ mm  | -                                                  | 16,1                                                                                               |
| 2-1 mm    | 49,7                                               | 57,9                                                                                               |
| 1-0,5 mm  | 23,6                                               | 25,5                                                                                               |
| $<0,5$ mm | 26,7                                               | 0,5                                                                                                |

Diese Methode der Vorbehandlung hat zum einen den Vorteil, daß der Boden gleichmäßig durchmischt und angefeuchtet wird. Zum anderen läßt sich das Ansprühen mit einer Nährlösung vornehmen und so eine ideal homogene Nährstoffbelegung erreichen. Drittens macht der in dieser Weise vorbehandelte Boden bei der Befüllung der Säulen keine Schwierigkeiten mehr.

Die in diesen Versuchen verwendeten Glassäulen hatten eine nutzbare Länge<sub>3</sub> von 160 mm bei einem Durchmesser von 48 mm, d. h. ein Volumen von 290 cm<sup>3</sup>. Am oberen Ende waren sie zu einem Trichter erweitert und unten zu einem konischen Auslauf ausgezogen. Dieser wurde bei allen Säulen mit einer konstanten Menge Watte locker verschlossen. Die homogene Befüllung einer Säule erfolgte in der Weise, daß diese über einen Pulvertrichter mit 20 mm Öffnung – indem der Boden kreisend auf dessen Rand gestreut wurde –, zunächst zu 3/4 gefüllt wurde. Nach 5maligem Aufstoßen auf einen Gummiblock wurde Boden bis zur vollen Füllung aufgegeben, erneut verdichtet und dann die Säule nach Einfüllen des restlichen Bodens so lange aufgestoßen, bis der nutzbare Säulenraum gefüllt war. Hierzu war eine Bodenmenge von 300 g Trockensubstanz nötig. Es ergibt sich bei dem nutzbaren Säulenvolumen von 290 cm<sup>3</sup> eine Dichte von 1,03.

Die so vorbereiteten Bodensäulen wurden zunächst mit entlüftetem, destilliertem Wasser bis zur vollen Wasserkapazität aufgefüllt. Die Zugabe erfolgte langsam mittels einer Pipette, wobei das Wasser nicht auf den Boden getropft, sondern über den Wassermeniskus von der Pipette zum Boden übergeleitet wurde. Eine Verschlämmung der Bodenaggregate konnte so verhindert werden. Nach Befeuchtung blieben die Säulen zwecks Quellung des Tons 24 Stunden mit Verdunstungsschutz stehen. Sodann erfolgte täglich – in 10 Portionen von je 20 ml im Abstand von einer Stunde – die Zugabe von 200 ml entlüfteter K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Lösung, wie bereits für das Wasser beschrieben.

In der Serie I erhielten die Säulen gesteigerte Lösungsmengen von 200, 400, 600, 800 und 1000 ml gleicher Konzentration, wobei pro 100 g Säulenboden 80, 160, 240, 320 und 400 mg K<sub>2</sub>O verabreicht wurden. In der Serie II wurde die Lösungsmenge in gleicher Weise gesteigert, die verabreichte Menge K<sub>2</sub>O/100 g Boden blieb jedoch mit 400 mg bzw. 1200 mg pro Säule konstant. Die Säulen standen während der Versuchszeit unter Verdunstungsschutz. Das Effluat wurde in Portionen von 50 ml aufgefangen und auf seinen Kalium-Gehalt flammenfotometrisch untersucht. Die Bodensäulen wurden 24 Stunden nach der letzten Lösungsaufgabe in 4 Abschnitte von jeweils 4 cm Höhe zerlegt und deren Gehalt an laktatverfügbarem Kalium ebenso bestimmt.

Des weiteren wurde (Serie III) Boden mit gesteigerten K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Gaben von 0, 100, 200 und 400 mg K<sub>2</sub>O/100 g in beschriebener Weise eingesprüht, dieser Boden in die Glassäulen gefüllt und – nach 24stündigem Verbleib bei voller Wasserkapazität – mit 900 ml destilliertem, entlüftetem Wasser eluiert. Die Wasseraufgabe von 200 ml pro Tag erfolgte stündlich in Portionen von 20 ml, das Eluat wurde in solchen von 100 ml aufgefangen. Die Bodensäulen

len wurden wiederum in 4 Abschnitte zerlegt und deren Laktat-Kalium-Gehalt bestimmt.

Die erhaltenen Werte der Parallelen stimmten sehr gut überein, ein Hinweis darauf, daß diese Methode eine reproduzierbare Befüllung der Säulen erlaubt.

Gleichfalls mit 0, 100, 200 und 400 mg  $K_2O/100$  g eingesprühter Boden (Serie IV) wurde nach einer Feuchtlagerung von 8 Tagen und Trocknung bei Zimmertemperatur einer 4maligen Ausschüttelung nach der Laktat-Methode unterworfen.

Die Untersuchungen der Serie I bis IV wurden in 3facher Wiederholung ausgeführt und die errechneten Mittelwerte in den Abbildungen 3 bis 12 dargestellt.

Zur Kennzeichnung des Bodens wurden folgende Untersuchungen vorgenommen:

Schlämmanalyse (Pipettmethode nach KÖHN)

AK und sorbierte Kationen (nach MEHLICH)

Kalium-Phosphorsäure-Bestimmung (DL-Methode nach EGNER-RIEHM)

pH-Wert in KCl (elektrometrisch)

Carbonat (nach SCHEIBLER)

organische Substanz (titrimetrisch)

### 3.1.2. Ergebnisse

Die Versuchsergebnisse der Serie I, wiedergegeben in den Abbildungen 3, 4 und 5 zeigen, daß sich der Boden (Abb. 3) wie ein typischer Ionen-Austauscher verhält, d. h. sein Kalium-Gehalt in Form einer Sättigungskurve ansteigt. Erst wenn die obere Bodenschicht einen gewissen Kalium-Spiegel erreicht hat, wird Kalium auch an den nächsten Säulenabschnitt abgegeben usw. Mit steigender verabreichter Kalium-Menge schreitet die Kalium-Anreicherung des Bodens zur Tiefe hin fort, wobei in der obersten Bodenschicht der Kalium-Gehalt asymptotisch einem "Endwert" zustrebt. Während die Minimalgabe von 80 mg pro 100 g Boden bzw. 240 mg pro Säule lediglich in der Lage ist, den Kalium-Gehalt des obersten Säulenabschnittes von 4 cm zu erhöhen und alle übrigen Tiefenbereiche unbeeinflußt läßt, ermöglicht

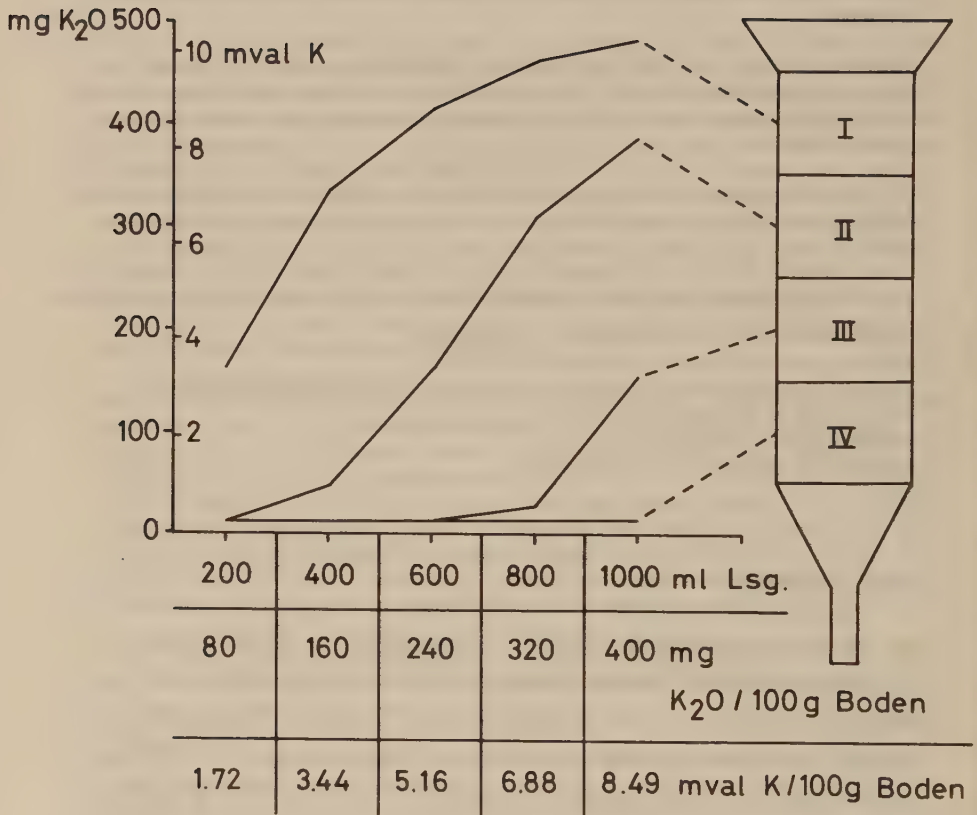


Abbildung 3

Kalium-Gehalte (in mg K<sub>2</sub>O bzw. mval K/100 g Boden) der Abschnitte einer Bodensäule in Abhängigkeit von der Kalium-Düngung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) und dem Lösungsvolumen (in ml).

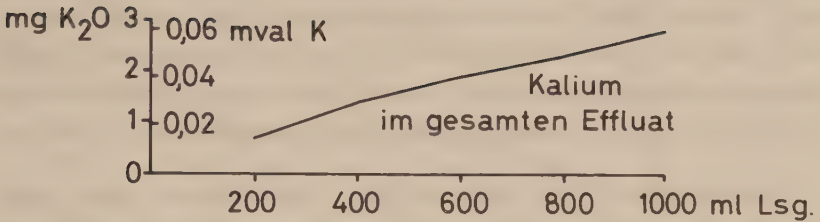


Abbildung 4

Kalium-Auswaschung (in mg K<sub>2</sub>O bzw. mval K/100 ml Effluat) aus einer Bodensäule in Abhängigkeit von der Kalium-Düngung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) und dem Lösungsvolumen (in ml)

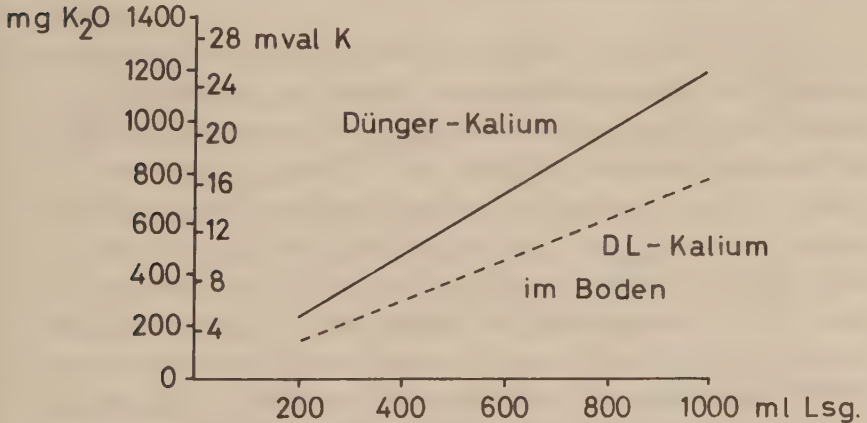


Abbildung 5

Vergleich zwischen der pro Säule verabreichten Kalium-Düngergabe und der im Säulenboden laktatverfügbar verbliebenen Kalium-Menge (in mg K<sub>2</sub>O bzw. mval K/100 g Boden) bei gesteigerter Kalium-Düngung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) und Lösungsmenge (in ml)

die Maximalgabe von 400 mg  $K_2O/100$  g Boden bzw. 1200 mg  $K_2O/Säule$  die Anhebung der Kalium-Werte der 3 oberen Schichten. Auch hier bleibt der unterste Säulenbereich noch unbeeinflusst. Stellt man der insgesamt der Säule angebotenen Kalium-Menge die nach Versuchsende im Boden laktatverfügbar verbliebene Kalium-Summe graphisch gegenüber, so ergeben sich 2 Geraden (Abb. 5). Die Gerade des Laktat-Kaliums verläuft wesentlich niedriger als die des applizierten Kaliums, ein Zeichen dafür, daß  $1/3$  des Dünger-Kaliums in eine laktatunlösliche Bindungsform überführt worden sein muß. Im Effluat konnten nur geringe Kalium-Gehalte bestimmt werden.

Die Konzentration der Varianten wies keine Unterschiede auf. Daher steigt die gesamte im Effluat nachgewiesene Kalium-Menge mit der linearen Steigerung der Kalium-Lösung ebenfalls nahezu linear an (Abb. 4). Die Summe des aus der Bodensäule ausgewaschenen Kaliums beträgt noch nicht einmal  $3\text{ ‰}$  der gedüngten Kalium-Menge.

In der Serie II (Abb. 6, 7, 8) macht sich bei unveränderter Höhe der applizierten Kalium-Gabe die Steigerung des Lösungs- und Transportmittels Wasser deutlich bemerkbar. Mit steigender Lösungsmenge (Abb. 6) nimmt die Verteilung des Kaliums im Boden, d. h. seine Verlagerung in die Tiefe, zu. Es werden jedoch auch in diesem Fall nur die oberen 3 Säulenabschnitte, mithin nur eine Tiefe von 12 cm beeinflusst. Die im Effluat (Abb. 7) bestimmte Kalium-Gesamtmenge ist ebenso absolut gering und nimmt mit der Wassermenge zu. Die Konzentration wird durch diese wiederum nicht beeinflusst. Bedingt durch die bessere Verteilung im Säulenprofil fällt die Gesamtmenge des im Säulenboden laktatverfügbar vorgefundenen Kaliums mit zunehmender Lösungsmenge ab. Sie ist beträchtlich niedriger als die Kalium-Vorlage (Abb. 8). Dies bedeutet, daß infolge der besseren Verteilung der  $K^+$ -Ionen im Boden von diesen mehr kaliumfixierende Positionen erreicht werden.

In Serie III sollte geprüft werden, in welcher Weise eine gleichmäßig mit

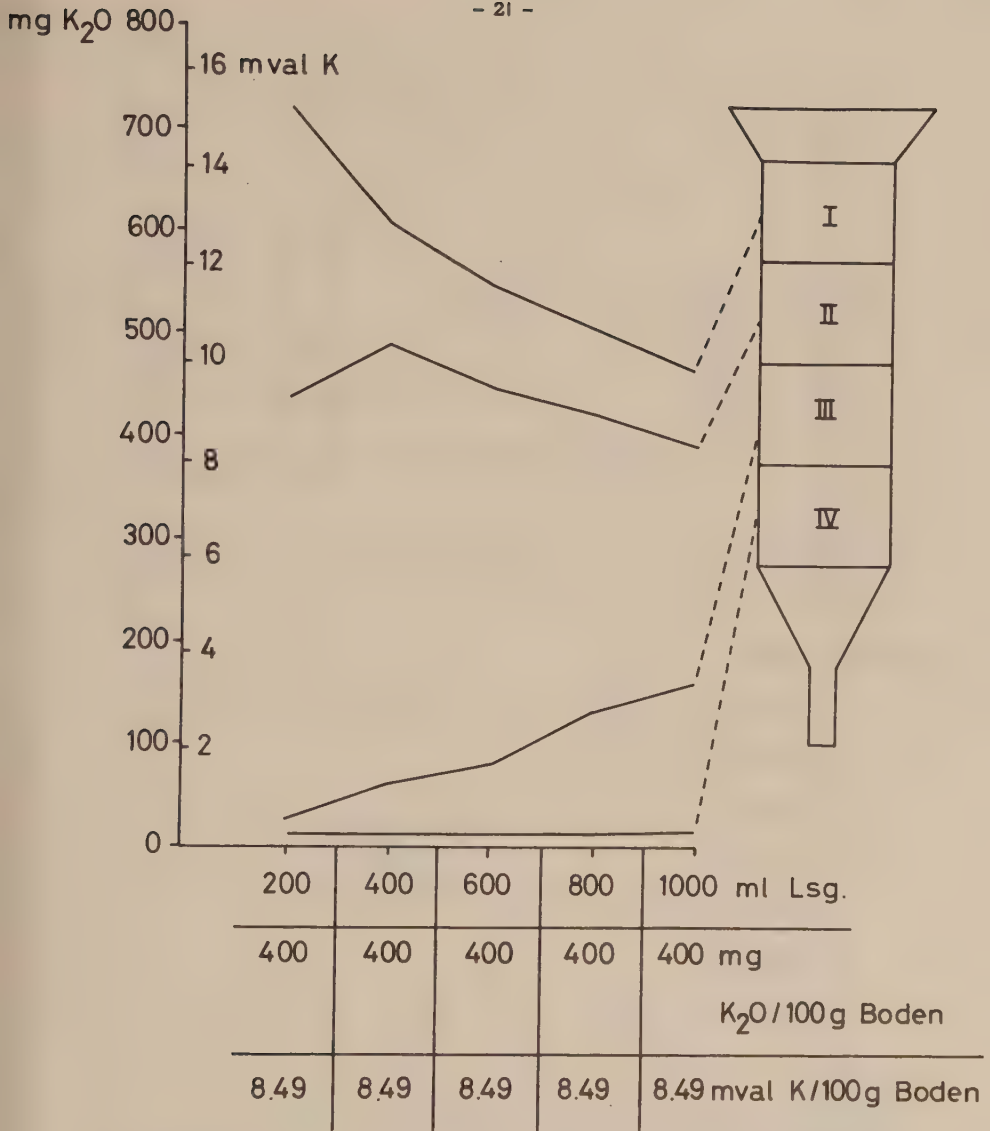


Abbildung 6

Kalium-Gehalte (in mg  $K_2O$  bzw. mval K/100 g Boden) der Abschnitte einer Bodensäule in Abhängigkeit von dem Lösungsvolumen (in ml) bei konstanter Kalium-Düngung (in mg  $K_2O/100$  g Boden)

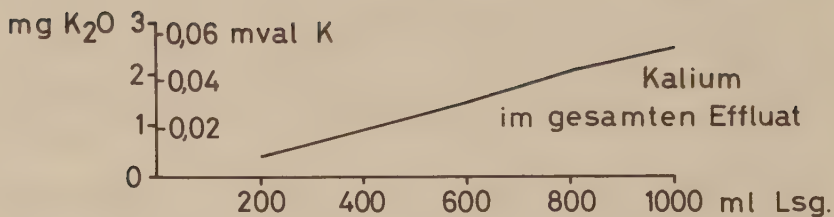


Abbildung 7

Kalium-Auswaschung (in mg  $K_2O$  bzw. mval K/100 ml Effluat) aus einer Bodensäule in Abhängigkeit von der Lösungsmenge (in ml) bei konstanter Kalium-Düngung (in mg  $K_2O$ /100 g Boden)

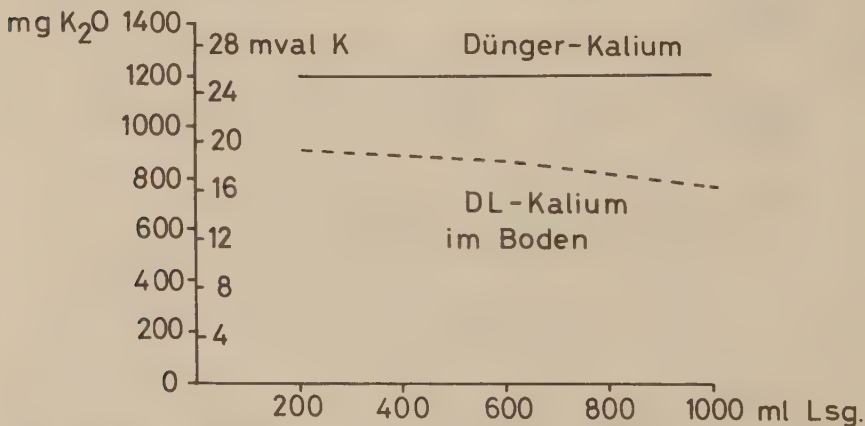


Abbildung 8

Vergleich zwischen der pro Säule verabreichten Kalium-Düngergabe und der im Säulenboden faktatverfügbar verbliebenen Kalium-Menge (in mg  $K_2O$  bzw. mval K/100 g Boden) bei konstanter Kalium-Düngung (in mg  $K_2O$ /100 g Boden) und gesteigerter Lösungsmenge (in ml)

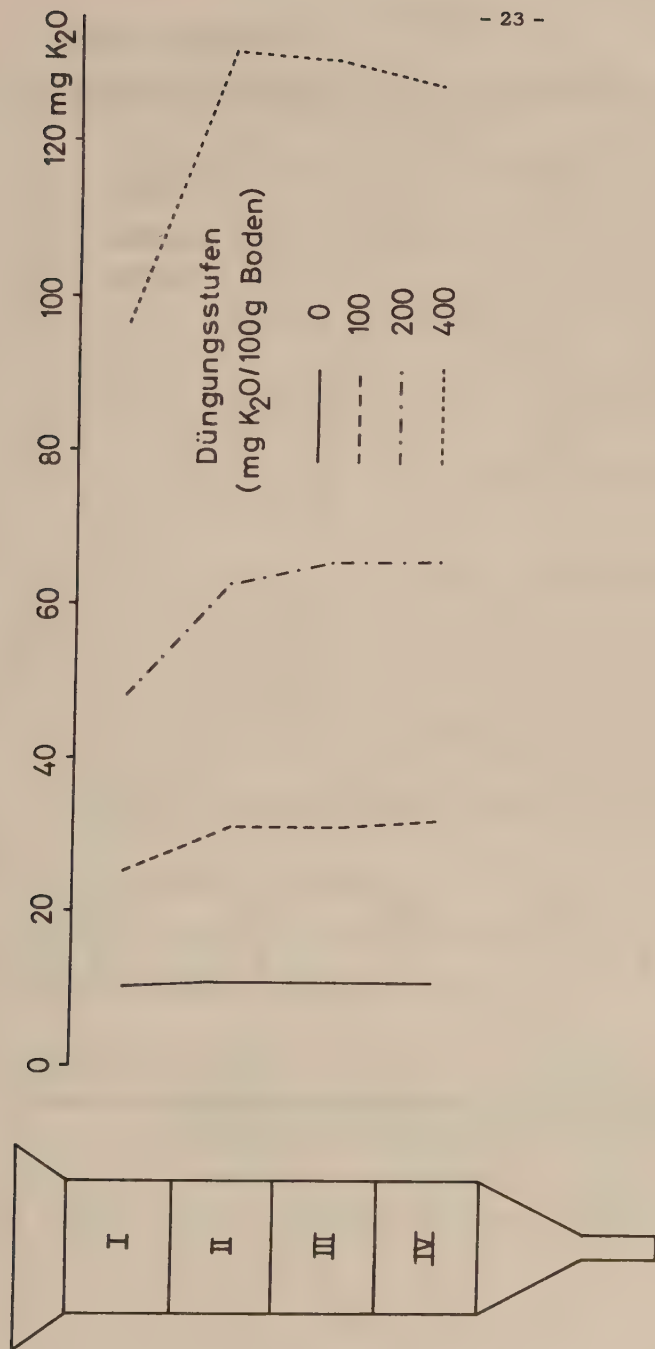


Abbildung 9

Kalium-Gehalte (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) der Abschnitte einer Bodensäule in Abhängigkeit von der gleichmäßig eingemischten Kalium-Düngung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) bei konstanter Wassergabe (in ml)

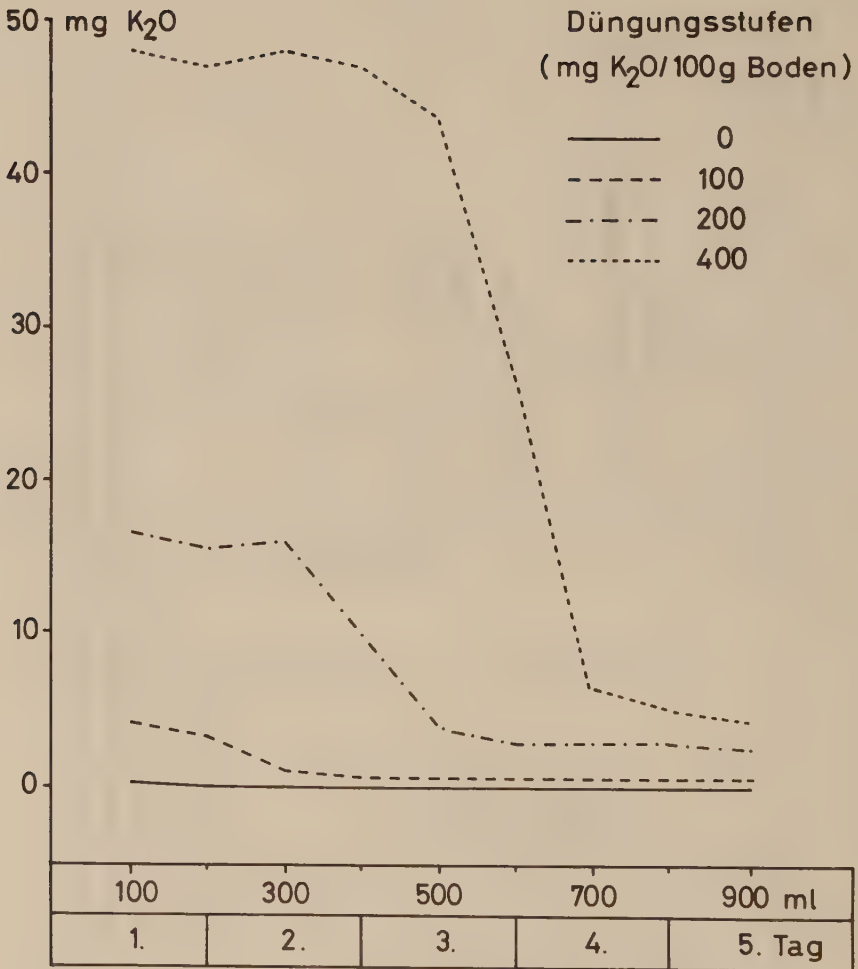


Abbildung 10

Zeitliche Kalium-Auswaschung (in mg  $K_2O/100$  ml Effluat) aus einer Bodensäule in Abhängigkeit von der gleichmäßig eingemischten Kalium-Düngung (in mg  $K_2O/100$  g Boden) bei konstanter Wassergabe (in ml)

Kalium belegte Bodensäule dieses an perkolierendes Wasser abgibt. Wie Abbildung 9 zeigt, hat sich der Kalium-Gehalt in den 4 Abschnitten der ungedüngten Säule kaum verändert. An das Effluat (Abb. 10) wird von dieser Säule eine nur geringe wasserlösliche Kalium-Menge - diese jedoch gleichmäßig - abgegeben. Nach steigender Aufdüngung des Bodens mit 100, 200 und 400 mg  $K_2O/100$  g Boden nimmt vor allem der Kalium-Verlust der obersten Säulenschicht gegenüber den übrigen Abschnitten zu. Auch die Kalium-Konzentration des Effluats steigt mit zunehmender Düngung stark an. Nach einer gewissen Zeit erfolgt mit wachsender Auswaschung eine Verminderung der Konzentration und ein Einpendeln auf einen wenig veränderlichen "Endwert". Die Höhe dieser länger aufrecht erhaltenen Konzentration ist von der anfangs zugeführten Düngung abhängig.

In Serie IV wurde untersucht, wie sich ein durch Einsprühen mit unterschiedlichen Kalium-Mengen gleichmäßig aufgedüngter Boden bei mehrmaligem Austausch einer Doppellaktatlösung gegenüber verhält. Die Ergebnisse sind in Abbildung 11, 12 zusammengefaßt. Sie zeigen, daß mit gesteigerter Düngung - wie erwartet - das laktatverfügbare Kalium progressiv ansteigt und mit fortschreitender Ausschüttelung die austauschbare Kalium-Menge abnimmt. Ferner wird deutlich, daß mit steigender Düngung der in der ersten Ausschüttelung enthaltene Prozentsatz Kalium an der insgesamt ausgetauschten Kalium-Menge ansteigt.

### 3.1.3. Besprechung

Die Säulenversuche haben gezeigt, daß in einem Lößlehm Boden mit anfangs niedrigem Laktat-Kalium-Gehalt die Beweglichkeit dieses Nährstoffs sehr gering ist. Die vorgenommene Steigerung der Kalium-Lösungsmenge von 200, 400, 600, 800 und 1000 ml pro Säule entspricht 110, 5, 221, 331, 5, 442 und 552, 5 mm/m<sup>2</sup> und enthält eine Kalium-Menge von umgerechnet 132, 6, 265, 2, 397, 8, 532, 4 und 663 g  $K_2O/m^2$ .

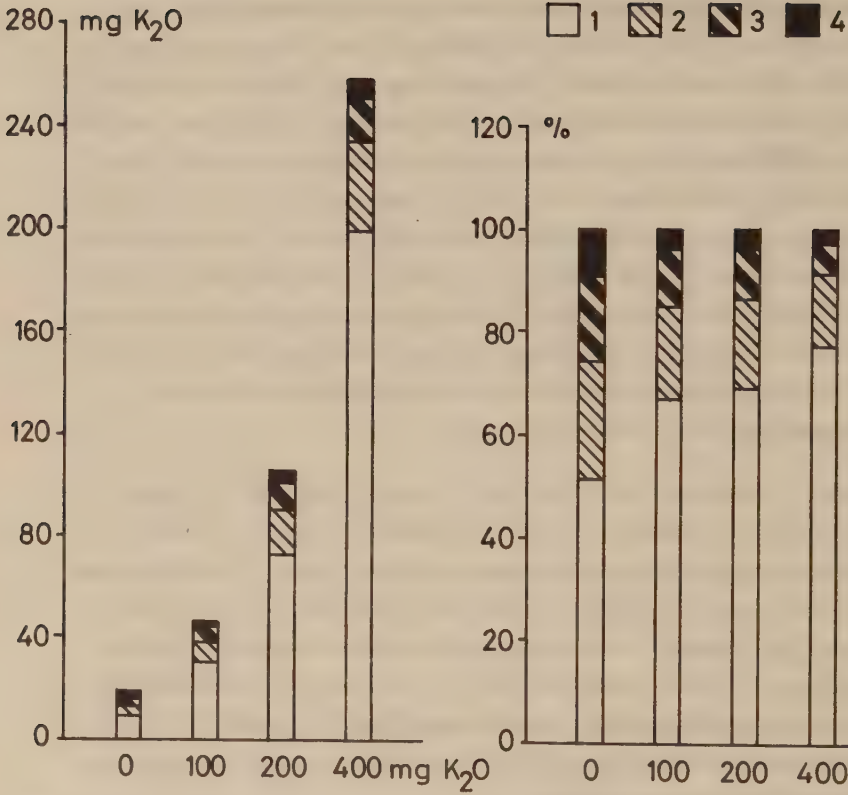


Abbildung 11  
Kalium-Abgabe eines Unterbodens  
in Abhängigkeit von der Kalium-Dün-  
gung bei 4maliger Ausschüttelung mit  
einer DL-Lösung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Bo-  
den)

Abbildung 12  
Prozentsatz der pro Ausschüttelung  
ausgetauschten Kalium-Menge an der ins-  
gesamt ausgetauschten Kalium-Menge in  
Abhängigkeit von der Kalium-Düngung  
(in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden)

(1, 2, 3, 4, = 1., 2., 3., 4. Ausschüttelung)

Transponiert man beispielsweise diese Versuchsbedingungen der Säulenversuche auf praktische Feldbedingungen, so würde ein appliziertes Lösungsvolumen von 1000 ml pro Säule (Querschnitt  $18,1 \text{ cm}^2$ ) entsprechend  $552,5 \text{ mm/m}^2$  bedeuten, daß etwa der gesamte Jahresniederschlag im Weinbaugebiet Rheingau in 5 Tagen ohne Oberflächenabfluß oder Verdunstungsverluste das Profil eines Weinbergbodens durchsickerte. Dieser wäre darüber hinaus von unerreicht lockerer Struktur und vorher schon bis zur vollen Wasserkapazität aufgefüllt. Die den Boden passierende Wassermenge würde dabei  $663 \text{ g/m}^2$  bzw.  $6630 \text{ kg/ha K}_2\text{O}$  einwaschen. Trotz dieser günstigen Verhältnisse wird das Kalium in den Säulen maximal nur über eine vertikale Distanz von 12 cm verlagert. Die Einwaschung bewirkt außerdem eine keineswegs ideale Kalium-Verteilung im Säulenboden. Erst nachdem die oberste Bodenschicht eine für praktische Verhältnisse indiskutable Kalium-Anreicherung erfahren hat, beginnt auch in den Schichten darunter ein Anstieg des Kalium-Gehaltes. Infolge dieses spezifischen Kalium-Selektionsprozesses ist die Kalium-Auswaschung aus der Bodensäule nur sehr gering. Da die Höhe der Kalium-Düngung die Kalium-Konzentration des Effluats nicht beeinflusst, sondern lediglich der Wasserdurchfluß durch die Säule für die ausgewaschene Kalium-Menge verantwortlich ist, scheint für den Kalium-Verlust aus einem gewissen Bodenvolumen lediglich dessen unterste Schicht ausschlaggebend zu sein. In den durchgeführten Versuchsserien I und II blieb nämlich in allen Steigerungen die unterste Bodenschicht von der Düngung unbeeinflusst, und so zeigten sich auch keine Konzentrationsunterschiede der Perkolutionslösung zwischen den Varianten.

Ähnliche Versuche, wie die hier besprochenen, wurden auch von ØIEN et al. (1959) mit Tonboden durchgeführt und erbrachten vergleichbare Ergebnisse. Bei Aufgabe einer KCl-Lösung auf feuchte Bodensäulen und anschließendes Einwaschen mit Wasser ( $110 \text{ mm/m}^2$ ) bei rascher Aufgabefolge war nur eine geringe Kalium-Verlagerung zur Tiefe hin festzustellen. Die Einwaschung erstreckte sich lediglich über eine Distanz von wenigen Zenti-

metern, wobei sich das Kalium-Maximum an der Säulenoberfläche befand. Es zeigte sich, daß die Lagerungsdichte ebenfalls von Einfluß auf die Kalium-Einwaschung war. Je dichter die Lagerung, desto geringer die vertikale Kalium-Verlagerung. In diesen Versuchen konnte im Effluat kein Kalium nachgewiesen werden. Parallele Untersuchungen an Sandsäulen erbrachten eine weit bessere Kalium-Beweglichkeit in diesem Material und eine beträchtliche Kalium-Auswaschung.

In der Serie III, wo der gesamte Säulenboden gleichmäßig mit steigenden Kalium-Gaben aufgedüngt worden war, bewirkte diese Maßnahme sofort eine mit der Düngung ansteigende Konzentration des Effluats. Die aus den Säulen in den Serien I und II ausgewaschene Kalium-Menge betrug bei 1000 ml Perkolutionslösung nur 2,5 mg. Diese Menge entspricht 13,8 kg  $K_2O$ /ha. Dem Ergebnis der Serie III ist weiter zu entnehmen, daß mit steigender Düngung die Kalium-Konzentration der Perkolutionslösung ebenso wie der Kalium-Laktatgehalt des Bodens progressiv zunimmt. Der Abfall der Konzentration verzögert sich bei fortschreitender Auswaschung, und es stellt sich ein düngungsabhängiger, langfristig gleichbleibender Konzentrationsendwert ein. Diese Tatsache ist für die Ernährung einer anspruchsvollen Kulturpflanze von großer Wichtigkeit. In diesem Zusammenhang ist ebenfalls interessant, daß das ausgewaschene Kalium hauptsächlich der obersten Säulenschicht entstammt und hier der bedeutendste Rückgang des Laktat-Kaliums zu verzeichnen ist. Diese Tatsache kann damit erklärt werden, daß zunächst die wenig kaliumspezifischen Bindungspositionen der obersten Säulenschicht ihr Kalium an das perkolierende Wasser abgeben. Dadurch wird die Kalium-Konzentration des Perkolates schon soweit angehoben, daß das Kalium-Gleichgewicht zwischen diesem und den folgenden Bodenschichten sehr schnell erreicht ist und daher aus diesen Schichten nur unbedeutende Kalium-Mengen abgeführt werden können.

Die Serie IV zeigt mit steigender Düngung einen progressiven Anstieg

des laktatverfügbar verbleibenden Düngungsanteils. In gleicher Weise erhöht sich der Prozentsatz der beim ersten Ausschütteln bestimmten Kalium-Menge an der bei 4maliger Ausschüttelung ausgetauschten Gesamt-Kalium-Menge.

### 3.2. Kalium-Tiefendüngung - Depotstreifendüngung - im Feldversuch

#### 3.2.1. Material und Methoden

##### 3.2.1.1. Standortbeschreibung

Um die als Arbeitsziel aufgestellte Forderung einer praktischen Lösung zuführen zu können, wurden in Rheinland-Pfalz drei für Feldversuche geeignete Rebanlagen ausgewählt. Sie wiesen Pflanzenbestände auf, welche sichtbar unter Kalium-Mangel litten. Diese Tatsache zeigte sich an violett-braunen Blattverfärbungen ab Anfang August, unbefriedigenden Erträgen, schwachem Holz und dem Absterben einzelner Stöcke. Während die Anlagen Worms-Abenheim und Essingen im Direktzug befahren werden konnten, war die Versuchsfläche in Oppenheim eine Seilzuglage. Der Versuchsanlage Oppenheim wurden im Sommer 1967 bei einem Starkregen schwere Schäden durch Grabenerosion in den Rebgassen zugefügt, welche weitere bodenkundliche Untersuchungen und Messungen nicht mehr gestatteten. Der Versuch wurde abgebrochen. Er bleibt daher weiterhin unerwähnt.

Der Versuchsstandort Worms-Abenheim befindet sich in der Lage "Bettzieche" (Besitzer: Georg Linder). Die Zeilung verläuft in SSE-Richtung bei einer Gassenbreite von 1,50 m und einem Stockabstand innerhalb der Zeile von 0,90 m. Die Stammhöhe beträgt 0,70 m. Der Drahtrahmen ermöglicht eine Laubwandhöhe von ca. 1,40 m. Die Reben der Sorte Müller-Thurgau auf der Unterlage 26 G hatten zum Zeitpunkt der Versuchsanlage ein Alter von 7 Jahren. Sie wiesen bereits seit mehreren Jahren Kalium-Mangel-Symptome auf.

### Pflegemaßnahmen:

Die Düngung wurde jährlich mit 120 kg N, 120 kg  $P_2O_5$ , 170 kg  $K_2O$  und 20 kg MgO pro Hektar (Volldünger) und 200 Ballen Torf/ha alle 2 Jahre vorgenommen. Die Bodenbearbeitung bestand aus dem Abpflügen im Frühjahr, 4maligem Grubbern während des Sommers und dem herbstlichen Anpflügen der Stöcke. Die Pflanzenschutzmaßnahmen bestanden aus 5-6 Spritzungen mit Dithane ultra + Netzschwefel bei je einmaligem Zusatz von Methasystox und E 605. Infolge des geringen Pflanzenabstandes wird der Anschnitt auf eine Bogrebe und einen Zapfen vorgenommen.

Der Versuchsweinberg Essingen befindet sich in der Lage "Hinter der Burg" (Besitzer: Erwin Doppler). Die Zeilung verläuft in NS-Richtung bei 1,50 m Gassenbreite. Der Stockabstand beträgt 1,40 m, die Stammhöhe der Reben 0,80 m und die Höhe der Laubwand ca. 1,20 m. Die Reben der Sorte Müller-Thurgau stehen auf der Unterlage 5 BB. Sie waren zu Versuchsbeginn 14 Jahre alt und wiesen seit dem Vollertragsalter Kalium-Mangelsymptome auf.

### Pflegemaßnahmen:

Die jährliche Düngung erfolgte mit 80 kg N (KAS), 135 kg  $P_2O_5$  (Borsuperphosphat), 190 kg  $K_2O$  und 60 kg MgO (Kalimagnesia) pro Hektar. Die Bodenbearbeitung bestand aus dem Abpflügen im Frühjahr, 4maligem Grubbern und dem Anpflügen im Herbst. Die Pflanzenschutzmaßnahmen erstreckten sich auf 6-7 Spritzungen mit Dithane ultra + Netzschwefel bei einmaligem Zusatz von E 605. Der Anschnitt wurde auf 2 Bogreben und 2 Zapfen vorgenommen Infolge der 1967 eingetretenen Hagelschäden konnte dieses Schnittschema nicht immer eingehalten werden.

Für die Versuchsstandorte können folgende Klimawerte benachbarter Wetterstationen herangezogen werden:

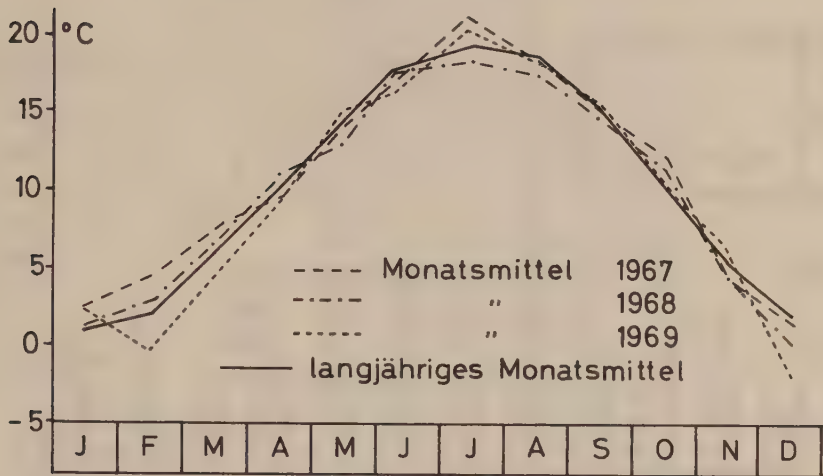
### Worms-Abenheim

Jahresmittel-Temperatur: 10,3° C (Mittel der Jahre 1931-1960)  
(Worms)

Jahresniederschlag: 537 mm (Mittel der Jahre 1891-1960)  
(Worms)

Sonnenscheindauer: 1672 Stunden (Mittel der Jahre 1891-1960)  
(Alzey)

# Worms - Abenheim (Worms)



# Essingen (Bergzabern)

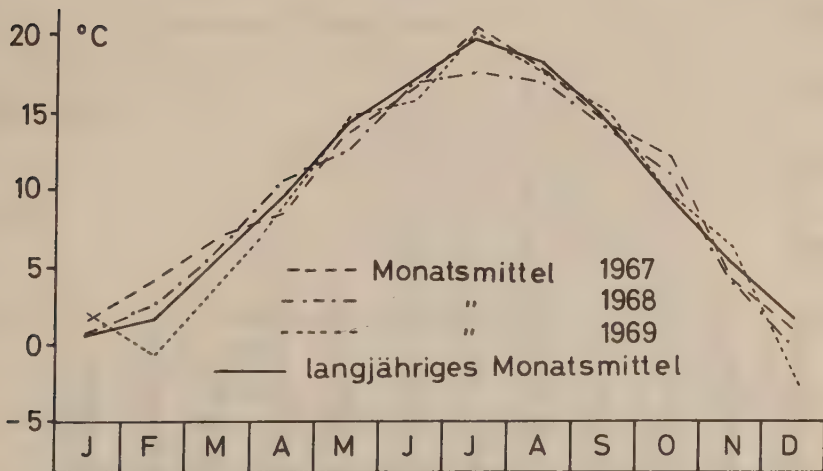
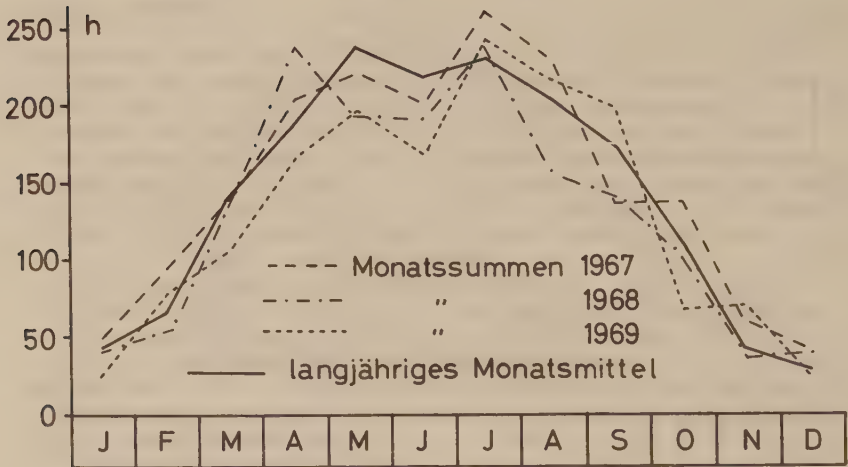


Abbildung 13

Temperaturverlauf (Monatsmittel in °C) an den Standorten Worms-Abenheim und Essingen während des Versuchszeitraumes

# Worms - Abenheim (Alzey)



# Essingen (Neustadt)

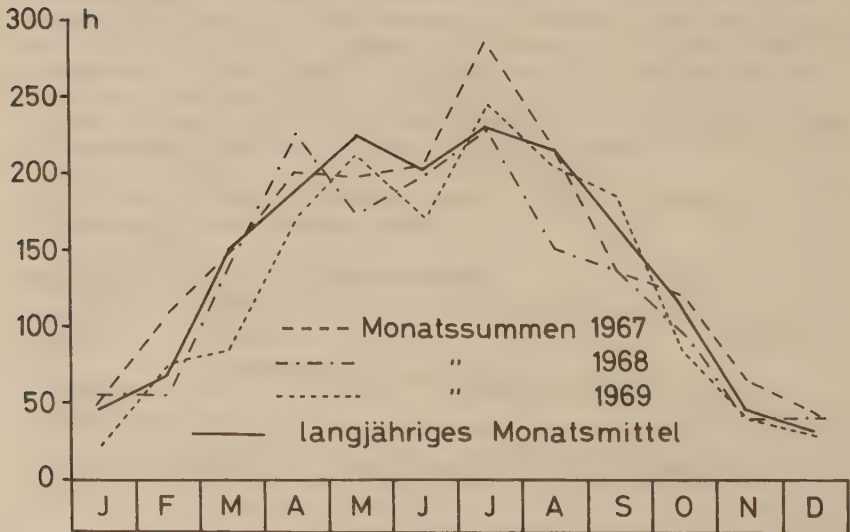


Abbildung 14

Sonnenscheindauer (Monatssummen in h) an den Standorten Worms-Abenheim und Essingen während des Versuchszeitraumes

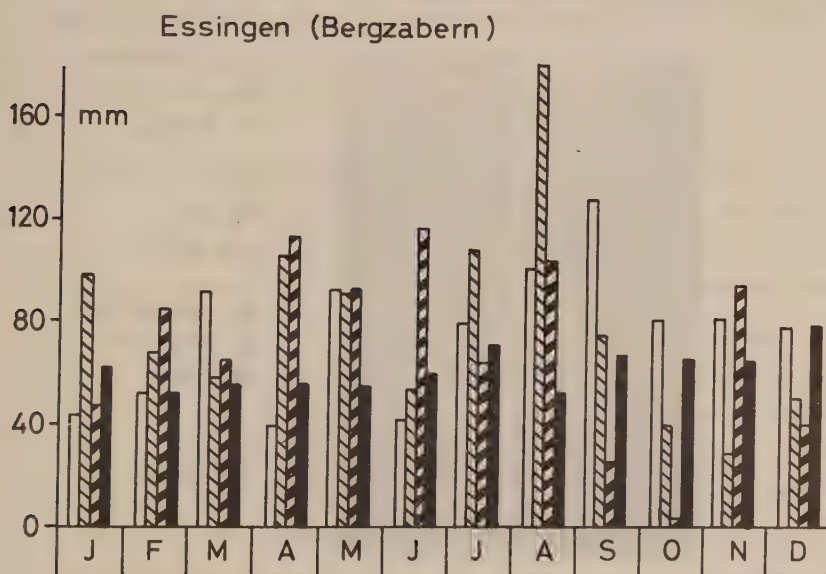
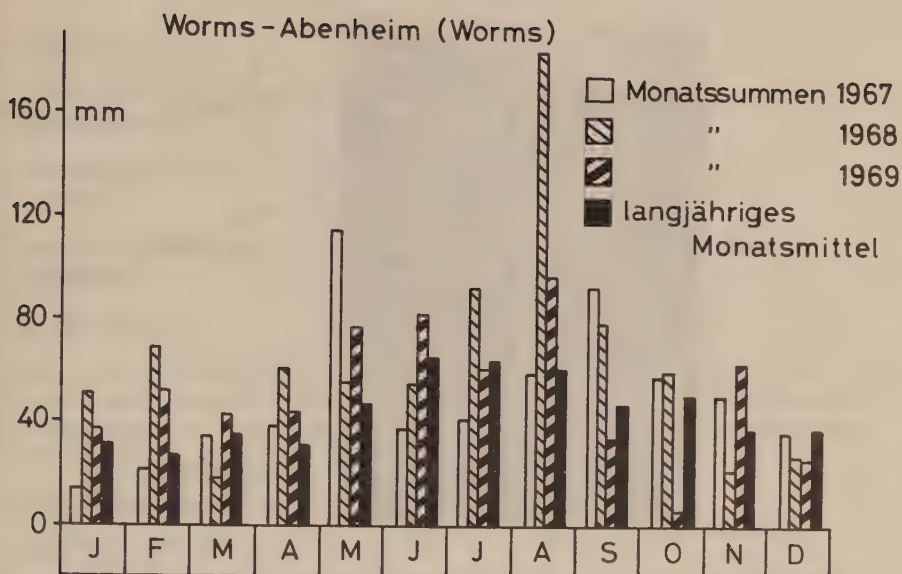


Abbildung 15  
Niederschläge (Monatssummen in mm) an den Standorten Worms-Abenheim und Essingen während des Versuchszeitraumes



$R_1$   
0 - 20 cm

$R_2$   
20 - 60 cm

C  
60 - 100 cm

Abbildung 16

Profil Worms-Abenheim; Pararendzina-Vinesol aus Löß  
(links glattgestochen, rechts gebrochen)



$R_1$   
0 - 15 cm

$R_2$   
15 - 40 cm

$B_t$  40 - 50 cm

$B_v - C$   
50 - 65 cm

C  
65 - 100 cm

Abbildung 17

Profil Essingen; Parabraunerde-Vinesol aus Löß  
(links glattgestochen, rechts gebrochen)

## Essingen

Jahresmittel-Temperatur:  $9,8^{\circ}\text{C}$  (Mittel der Jahre 1931-1960)  
(Bergzabern)

Jahresniederschlag: 677 mm (Mittel der Jahre 1891-1960)  
(Landau)

Sonnenscheindauer: 1707 Stunden (Mittel der Jahre 1891-1960)  
(Neustadt)

## Witterungsverlauf

Der Witterungsverlauf der Untersuchungsjahre 1967, 1968 und 1969 ist für die Feldversuchsstandorte Worms-Abenheim und Essingen in den Abbildungen 13 (Temperatur), 14 (Sonnenscheindauer) und 15 (Niederschlag) zusammengestellt.

## Profil: Worms-Abenheim

Lage: Westlich der Straße Worms-Abenheim - Westhofen

Geländeform: schwach geneigtes Plateau (2-3 ‰)

Exposition: Süd-Südost

Nutzung: Reben (Normalanlage), durch häufige Bearbeitung offener Boden

Ausgangsmaterial: Löß

Bodentyp: Pararendzina-Vinesol\*, auf 60 cm Tiefe rigolt

Profilaufbau:

- $R_1$  0-20 cm Dunkelgraubrauner (10 YR 4/2), humoser \*\* (torfhaltiger), sehr stark carbonathaltiger\*\* schluffiger Lehm (uL) von neutraler Reaktion, locker krümeliges, viel Wurmlosung enthaltendes Gefüge, kaum durchwurzelt. Nur undeutlich abgegrenzt gegen
- $R_2$  20-60 cm Braun bis dunkelbrauner (10 YR 4/3), schwach humoser (torfhaltiger), sehr stark carbonathaltiger schluffiger Lehm (uL) von neutraler Reaktion, krümelig-bröckeliges Gefüge mit deutlicher Regenwurmtätigkeit, Hauptwurzelbereich der Reben. Im Bereich der Schlepperspur bröckelig-polyedrisch-plattiges, kantig brechendes Gefüge. Sehr deutliche Grenze zu
- C 60 cm + Gelblichbrauner (10 YR 5/5), schwach humoser, sehr stark car-

---

\* n. ZAKOSEK (1961)

\*\* n. SCHÖNHALS (1954)

bonathaltiger lehmiger Schluff (IU), kleine  $\text{CaCO}_3$ -Konkretionen, Pseudomyzel, von alkalischer Reaktion, Kohärentgefüge mit Nadelstichporen, noch schwach von den Reben durchwurzelt, Regenwurmröhren mit R-Material ausgekleidet.

Profil: Essingen

Lage: Südlicher Dorfausgang von Essingen an der Straße Speyer-Landau

Geländeform: Ebenes Plateau

Nutzung: Reben (Normalanlage), durch häufige Bearbeitung offener Boden

Ausgangsmaterial: Löß

Bodentyp: Parabraunerde-Vinesol, auf 40 cm Tiefe rigolt

Profilaufbau:

- |       |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_1$ | 0-15 cm  | Braun bis dunkelbrauner (7,5 YR 4/2), humoser, carbonathaltiger, lehmiger Schluff (IU) von neutraler Reaktion, feinpolyedrisch-krümeliges Gefüge, stellenweise mit Wurmlosung durchsetzt, spärlich durchwurzelt. Oberfläche zur Verschlämmung und Verkrustung neigend. In der Schlepperspur grobpolyedrisches, z. T. plattig ausgebildetes Gefüge, Wurzeln nur in Schrumpfrissen und entlang der Absonderungsflächen wachsend. Kontinuierlich übergehend in |
| $R_2$ | 15-40 cm | Braun bis dunkelbrauner (7,5 YR 4/2-4/4), schwach humoser, carbonatarmer schluffiger Lehm (uL) von neutraler Reaktion, feinpolyedrisch-krümeliges, mit Wurmlosung und Wurmröhren durchsetztes Gefüge. Hauptwurzelbereich der Reben. In der Schlepperspur grobpolyedrisch-kantiges Gefüge. Deutliche, wellenförmige Grenzlinie gegen                                                                                                                         |
| $B_t$ | 40-50 cm | Rötlichbrauner (5 YR 4/4), schwach humoser, carbonatarmer, schwach sauer reagierender schluffiger Lehm (uL), feinpolyedrisches Gefüge, stellenweise krümelig, von den Reben durchwurzelt, Regenwurmgänge mit R-Material ausgekleidet. Gleitender Übergang zu                                                                                                                                                                                                |

- B<sub>V</sub>-C 50-65 cm Brauner (7,5 YR 5/4), schwach humoser, sehr stark carbonathaltiger schluffiger Lehm (uL), neutrale Reaktion, feinpolyedrisch-kohärentes Gefüge mit Nadelstichporen, Bereiche mit Wurmkot und Krümelgefüge, noch durchwurzelt. Ohne scharfe Grenze übergehend in
- C 65 cm + Leuchtendbrauner (7,5 YR 5/6), schwach humoser, sehr stark carbonathaltiger lehmiger Schluff (l<sup>u</sup>L), Pseudomyzel, alkalische Reaktion, Kohärentgefüge mit Nadelstichporen, Regenwurmröhren mit R-Material ausgekleidet, keine Wurzeln.

#### Röntgenuntersuchung von Tonproben der Standorte Worms-Abenheim und Essingen

Röntgenographische Untersuchungen\* an den Tonfraktionen ( $< 2 \mu$ ) der beiden Versuchsstandorte Worms-Abenheim und Essingen haben ergeben, daß die von NIEDERBUDDE (1965) gemachten Aussagen über die tonmineralogische Zusammensetzung der Tonfraktionen rheinhessischer und pfälzischer Lößböden auch für diese Standorte zutreffen.

Wie die als Beispiel in Abbildung 18 gezeigten Röntgendiagramme ausweisen, enthält die Tonfraktion des Standortes Abenheim Montmorillonite mit schlecht geordneten Kristallgittern, welche nur diffuse Interferenzen hervorrufen. Aus dieser Tatsache läßt sich ableiten, daß der Ladungsverlust dieser Tonminerale im Zuge der Verwitterung bereits weiter fortgeschritten ist. Neben Montmorillonit kommen weiterhin Illit und Kaolinit vor. Diese sind besser geordnet und herrschen mengenmäßig vor. Besonders der Illit ist für das kaliumspezifische Verhalten dieses Bodens verantwortlich zu machen. Vermikulit scheint nur in geringer Menge vorhanden zu sein.

Durch die Einwirkung einer KCl-Lösung (0,01 n) erfolgt bereits bei Lufttrocknung unter Abnahme des Montmorillonit-Peaks, eine deutliche Verstär-

---

\* Methode nach TRIBUTH (1967)

Tabelle 2  
Korngrößenverteilung (carbonatfreier Boden, in %)

| Profil<br>Horizont<br>(cm) | Ton<br>$< 2 \mu$ | Fein-<br>schluff<br>2-6 $\mu$ | Mittel-<br>schluff<br>6-20 $\mu$ | Grob-<br>schluff<br>20-63 $\mu$ | Fein-<br>sand<br>63-630 $\mu$ | Grob-<br>sand<br>630-2000 $\mu$ | Gesamt-<br>schluff<br>2-63 $\mu$ | Gesamt-<br>sand<br>63-2000 $\mu$ | Boden-<br>art |
|----------------------------|------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|
| Worms-Abenheim             |                  |                               |                                  |                                 |                               |                                 |                                  |                                  |               |
| R <sub>1</sub> 0-20        | 19,07            | 11,85                         | 25,10                            | 28,98                           | 5,40                          | 9,60                            | 65,93                            | 15,00                            | uL            |
| R <sub>2</sub> 20-60       | 20,60            | 12,10                         | 25,35                            | 29,25                           | 4,60                          | 8,10                            | 66,70                            | 12,70                            | uL            |
| C 60 +                     | 16,45            | 11,80                         | 27,10                            | 41,40                           | 1,95                          | 1,30                            | 80,30                            | 3,25                             | 11U           |
| Essingen                   |                  |                               |                                  |                                 |                               |                                 |                                  |                                  |               |
| R <sub>1</sub> 0-15        | 18,95            | 19,05                         | 30,55                            | 23,15                           | 4,25                          | 4,05                            | 72,75                            | 8,30                             | 11U           |
| R <sub>2</sub> 15-40       | 29,70            | 20,55                         | 27,05                            | 19,70                           | 2,10                          | 0,90                            | 67,30                            | 3,00                             | uL            |
| B <sub>t</sub> 40-50       | 28,90            | 14,15                         | 27,80                            | 24,25                           | 3,10                          | 1,80                            | 66,20                            | 4,90                             | uL            |
| B <sub>v</sub> -C 50-65    | 26,25            | 11,15                         | 30,00                            | 28,85                           | 2,50                          | 1,25                            | 70,00                            | 3,75                             | uL            |
| C 65 +                     | 11,00            | 11,85                         | 35,50                            | 36,70                           | 4,00                          | 0,95                            | 84,05                            | 4,95                             | 11U           |

Tabelle 3

## Kenndaten der Bodenprofile

| Profil<br>Horizont<br>(cm) | pH-Wert | CaCO <sub>3</sub><br>% | K <sub>2</sub> O<br>mg/100 g Boden | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | org. Subst.<br>%<br>(C x 1,72) | AK    | Na   | K    | Ca    | Mg   |
|----------------------------|---------|------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|-------|------|
| Worms-Abenheim             |         |                        |                                    |                               |                                |       |      |      |       |      |
| R <sub>1</sub> 0-20        | 7,10    | 22,17                  | 30,4                               | 22,3                          | 3,39                           | 18,61 | 1,21 | 1,16 | 16,75 | 2,37 |
| R <sub>2</sub> 20-60       | 7,30    | 21,74                  | 8,0                                | 13,5                          | 1,58                           | 15,68 | 1,04 | 0,25 | 14,68 | 0,99 |
| C 60 +                     | 7,56    | 34,27                  | 3,0                                | 1,0                           | 0,32                           | 11,24 | 1,25 | 0,10 | 11,62 | 0,56 |
| Essingen                   |         |                        |                                    |                               |                                |       |      |      |       |      |
| R <sub>1</sub> 0-15        | 7,00    | 3,49                   | 52,5                               | 60,0                          | 2,13                           | 18,06 | 1,48 | 1,31 | 14,18 | 1,06 |
| R <sub>2</sub> 15-40       | 6,58    | 0,30                   | 11,5                               | 15,3                          | 1,38                           | 20,34 | 1,10 | 0,26 | 19,99 | 1,50 |
| B <sub>t</sub> 40-50       | 6,40    | 0,17                   | 9,0                                | 4,8                           | 0,62                           | 20,31 | 1,48 | 0,23 | 20,00 | 2,81 |
| B <sub>v</sub> -C 50-65    | 7,35    | 24,20                  | 5,0                                | 2,8                           | 0,49                           | 13,61 | 1,04 | 0,16 | 11,56 | 1,68 |
| C 65 +                     | 7,42    | 29,90                  | 4,5                                | 1,7                           | 0,22                           | 9,23  | 1,25 | 0,10 | 10,74 | 1,18 |

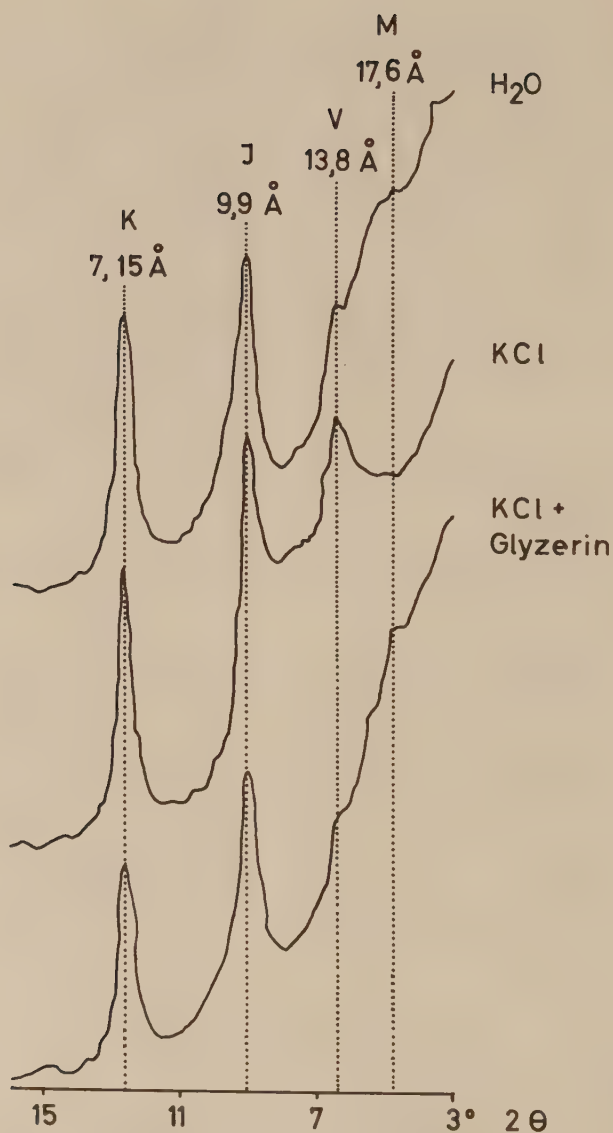


Abbildung 18

Röntgendiagramme der Gesamt-Tonfraktion  $< 2 \mu$  (Ca-Ton) von Unterboden ( $R_2$ ) des Feldversuchsstandortes Worms-Abenheim  
 (K = Kaolinit, I = Illit, V = Vermikulit, M = Montmorillonit)

kung des Vermikulit-Peaks, d. h. die Basisflächenabstände montmorillonitischer Tone verringern sich unter Kontraktion infolge des Kalium-Einbaues in die Zwischenschichten von  $17,6 \text{ \AA}$  auf  $13,8 \text{ \AA}$ . Obwohl durch die KCl-Behandlung der Tonfraktion bei  $13,8 \text{ \AA}$  ein deutlicher Peak entsteht, tritt dieser bei Glycerin-Behandlung nicht mehr auf, ohne daß sich aber ein solcher bei  $17,6 \text{ \AA}$  bildet. Dies läßt den Schluß zu, daß die montmorillonitischen Tonminerale auf Basisflächenabstände von über  $18 \text{ \AA}$  hinaus aufweitbar sind. Der starke Anstieg der Kurven im Kleinwinkelbereich läßt auf das Vorhandensein von röntgenamorphen Substanzen bzw. Alophanen schließen (TRIBUTH 1967).

Auch die Tonfraktion des Essinger Bodens setzt sich aus schlecht geordneten Montmorilloniten, Vermikulit, Illit und Kaolinit zusammen. Vermikulit ist mengenmäßig nur in geringem Umfang vertreten, Montmorillonit und Illit herrschen vor. Eine Behandlung mit KCl verursacht keine Abnahme des  $17,6 \text{ \AA}$ -Peaks; der  $13,8 \text{ \AA}$ - und  $9,9 \text{ \AA}$ -Peak verstärken sich nicht. Die Kalium-Belegung hat also nicht zu einer Reduzierung der Basisflächenabstände bei den montmorillonitischen Tonmineralen auf die Abstände von Vermikulit und Illit geführt. Eine Kalium-Fixierung von Bedeutung seitens dieser Minerale scheint daher nicht einzutreten. Obwohl die  $14 \text{ \AA}$ - und  $18 \text{ \AA}$ -Minerale nur diffuse Reflexe erzeugen, führt die Hitzebehandlung mit  $400^{\circ} \text{C}$  zu einer Verdoppelung des  $9,9 \text{ \AA}$ -Peaks. Aus dieser Tatsache läßt sich auf einen größeren Anteil dieser montmorillonitischen Minerale an der Gesamtonfraktion schließen, als aus der Höhe des Peaks zu erkennen war. Sie ist weiterhin eine Bestätigung für die sehr weitgehende Aufweitung und den schlechten Ordnungsgrad dieser Minerale.

### 3. 2. 1. 2. Versuchsplanung und -ausführung

Wie bereits erwähnt handelt es sich bei den Versuchsflächen um Normalanlagen mit  $1,50 \text{ m}$  Zeilenabstand. Bei dieser Pflanzbreite durchdringen sich die Wurzelsysteme zweier benachbarter Rebzeilen gegenseitig. Besteht nun die

Notwendigkeit, dem Unterboden – wie im Falle des Kalium-Mangels – direkt durch einen mechanischen Eingriff die fehlenden Nährstoffe zuzuführen, so werden dabei zwangsläufig Rebwurzeln zerstört. Da nach FADER (1967) die Rebwurzeln zunächst ca. bis zur Gassenmitte in 30 – 50 cm Tiefe horizontal verlaufen bevor sie in tiefere Bodenbereiche vordringen, wird ein tiefgreifender mechanischer Eingriff in den Boden der Rebe um so mehr Wurzeln abschneiden, je näher an den Pflanzen die Bearbeitung erfolgt. Die geringsten Wurzelschäden sind also dann zu erwarten, wenn die Unterbodenbearbeitung in der Mitte der Gasse ausgeführt wird (SCHULTE-KARRING 1969). Dieser Bereich ist darüber hinaus auch für schleppergezogene Geräte am leichtesten zu erfassen.

Für die vorgesehene Tiefendüngung lag es nahe, das von HOMRIGHAUSEN am Institut entwickelte und zur Chlorosebekämpfung mit Erfolg eingesetzte Lockerungsschwert zu verwenden. Es besteht aus dem senkrecht in einem Führungstrapez gehaltenen Schwert, an dessen unterem Ende horizontal eine schräg angeschärfte Traverse angebracht ist. Sie wird seitlich durch 2 Dornen begrenzt und hat die Funktion, den unterfahrenen Boden anzuheben. Außerdem lassen sich an einer Achse Sternräder anbringen, welche den gelockerten Boden vermischen sollen. Das Lockerungsgerät wird über einen "Röll-Geräterahmen" am Schlepper angebaut. Arbeitstiefe und Schnittwinkel lassen sich verstellen. Da der Zugkraftbedarf des Gerätes hoch ist, erschien es ratsam, vor der Lockerungsmaßnahme den Oberboden mit Hilfe eines Häufelkörpers beiseite zu pflügen. Hierdurch wurde es möglich, in dem anschließenden Arbeitsgang mit einem starken Schmalspurschlepper oder einer Weinbergsraupe eine Lockerungstiefe von 40 – 50 cm zu erreichen.

Da infolge der pflanzenbaulichen und technischen Gegebenheiten nur ein begrenztes Unterbodenvolumen von ca. 1/4 des Gesamtunterbodens für eine Düngungsmaßnahme bei stehendem Rebbestand zugänglich ist, erschien es wünschenswert, diesen Bereich über das normale Maß von 50 mg  $K_2O$  pro 100 g Boden hinaus aufzudüngen. Auf diese Weise wird ein "Depotstreifen" geschaf-

fen, aus dessen Vorrat sich die Rebe verstärkt mit dem im übrigen Unterboden nur mangelhaft verfügbaren Nährstoff Kalium versorgen kann. Nach SCHULTE-KARRING (1968, 1969) übersteht die Rebe einen Teilverlust ihres Wurzelsystems rasch, da ihre Bereitschaft nach einer Verkürzung neue Wurzeln zu bilden besonders ausgeprägt ist. So wendet sich der zunächst negative Effekt der Wurzelverkürzung durch die Unterbodendüngung zum Positiven, indem die an den Schnittstellen büschelförmig sich bildenden jungen Wurzeln direkt in die nun mit Nährstoffen angereicherte Unterbodenzone einwachsen können. Eine solche starke Wurzelvermehrung ist wegen der mit der Anzahl der Wurzeln zunehmenden Leistungssteigerung im Bereich des Depotstreifens sehr erwünscht.

Der Versuchsweinberg Worms-Abenheim erlaubte lediglich die Anlage von 2 Langparzellen, d. h. eine Behandlung mit Oberflächendüngung und eine 2. mit Tiefendüngung durch Anlage eines Depotstreifens. Innerhalb dieser unterschiedlichen Bodenbehandlungen wurde noch eine Steigerung des verabreichten Kaliums in 3 Düngungsstufen von 50, 100 und 150 mg  $K_2O/100$  g Boden, bezogen auf den Depotstreifen von 40 cm Breite und 20 cm Tiefe, in 4facher Wiederholung vorgenommen. Aus dieser Anordnung ergibt sich pro Variante, eine auszuwertende Stockzahl von 12 bzw. eine solche von 48 für die 4 Wiederholungen pro Kalium-Düngungsstufe und Behandlung.

Die Versuchsfläche Essingen gestattete die Einbeziehung einer 3. Bodenbehandlungsvariante in den Versuch. Neben die übliche Oberflächendüngung und die Tiefendüngung in Form des Depotstreifens trat hier die Oberflächendüngung in Verbindung mit einer Unterbodenlockerung. Eine 3fache Steigerung der Kalium-Gaben wurde wie in Worms-Abenheim vorgenommen. Die geringere Zeilenlänge erlaubte jedoch nur 3 Wiederholungen. Für die Behandlung mit Depotstreifen ergab sich pro Variante eine Zahl von 15 Stöcken bzw. 45 für die 3 Wiederholungen pro Kalium-Stufe und Behandlung, für die Behandlungen Oberflächendüngung und Oberflächendüngung + Tiefenlockerung analoge Zahlen von 10 bzw. 30.

Tabelle 4  
Düngungsplan Worms-Abenheim

| Kalium-<br>Düngungs-<br>stufen | Behandlung                                            |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                | A=Oberflächendüngung                                  | C=Tiefendüngung (Depotstreifen)     |
| K <sub>1</sub>                 | 13 mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden                    | 50 mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden  |
|                                | 390 kg K <sub>2</sub> O/ha = 1390 kg Kalimagnesia/ha  |                                     |
| K <sub>2</sub>                 | 26 mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden                    | 100 mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden |
|                                | 780 kg K <sub>2</sub> O/ha = 2780 kg Kalimagnesia/ha  |                                     |
| K <sub>3</sub>                 | 39 mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden                    | 150 mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden |
|                                | 1170 kg K <sub>2</sub> O/ha = 4170 kg Kalimagnesia/ha |                                     |

Tabelle 5  
Düngungsplan Essingen

| Kalium-<br>Düngungs-<br>stufen | Behandlung                                            |                                                      |                                         |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                | A=Oberflächen-<br>düngung                             | B=Oberflächen-<br>düngung + Unter-<br>bodenlockerung | C=Tiefendüngung<br>(Depotstreifen)      |
| K <sub>1</sub>                 | 13 mg K <sub>2</sub> O/<br>100 g Boden                | 13 mg K <sub>2</sub> O/<br>100 g Boden               | 50 mg K <sub>2</sub> O/<br>100 g Boden  |
|                                | 390 kg K <sub>2</sub> O/ha = 1390 kg Kalimagnesia/ha  |                                                      |                                         |
| K <sub>2</sub>                 | 26 mg K <sub>2</sub> O/<br>100 g Boden                | 26 mg K <sub>2</sub> O/<br>100 g Boden               | 100 mg K <sub>2</sub> O/<br>100 g Boden |
|                                | 780 kg K <sub>2</sub> O/ha = 2780 kg Kalimagnesia/ha  |                                                      |                                         |
| K <sub>3</sub>                 | 39 mg K <sub>2</sub> O/<br>100 g Boden                | 39 mg K <sub>2</sub> O/<br>100 g Boden               | 150 mg K <sub>2</sub> O/<br>100 g Boden |
|                                | 1170 kg K <sub>2</sub> O/ha = 4170 kg Kalimagnesia/ha |                                                      |                                         |

Wie aus den Düngungsplänen von Worms-Abenheim (Tab. 4) und Essingen (Tab. 5) zu entnehmen ist, erhielt der Depotstreifen in der Kalium-Düngungsstufe K 1 eine Düngung von 50 mg  $K_2O/100$  g Boden. Legt man ein Hektarbondengewicht von 3000 t für eine 20 cm Schicht zugrunde, so ergibt sich bei einer Depotstreifenfläche von  $17,30\text{ m}^2$  für den Depotstreifen pro Variante eine Düngermenge von 2,554 kg  $K_2O$ . Diese gleiche Gabe auf die gesamte Parzelle von  $64,80\text{ m}^2$  als Oberflächengabe verabreicht, ermöglicht lediglich eine Düngung von ca. 13 mg  $K_2O/100$  g Boden. Es werden also mit dieser Versuchsanordnung den zu vergleichenden Varianten die gleichen Kalium-Mengen verabreicht, durch die abgewandelte Düngerplatzierung ergeben sich jedoch unterschiedliche Werte pro Gewichtseinheit Boden. So erhält der Boden des Depotstreifens ca. 3,8 mal so viel Kalium wie die Krume bei Oberflächendüngung. Aufgrund dieser veränderten Platzierungsbedingungen ist daher bei Berücksichtigung der Kalium-Fixierung mit einer unterschiedlichen Effektivität des gedüngten Kaliums zu rechnen. Die in der Düngungsstufe K 1 verabreichte Kalium-Menge entspricht einer Gabe von 390 kg  $K_2O$  bzw. 1390 kg Kalimagnesia pro ha. Eine solche Düngung wäre nach BUXBAUM (1956) für einen sehr stark kaliumbedürftigen Standort mit weniger als 10 mg  $K_2O$  pro 100 g Boden als jährliche Gabe angebracht. Als Kalium-Dünger wurde Kalimagnesia gewählt, da dieser Dünger, aufgrund seines Magnesiumanteils im Weinbau eine größere Rolle spielt.

Häufig fehlt neben Kalium auch Magnesium. Wird lediglich der Kalium-Mangel durch eine alleinige Kalium-Düngergabe behoben, so wird die Magnesiumversorgung der Rebe relativ verschlechtert. Die Kalium-Wirkung kann nicht befriedigen und es treten Magnesiummangelsymptome an den Rebblättern auf (MULDER 1950, MENGEL 1968a und PLATZ 1969). Nach WALTER (1970) gewährleistet die Anwendung von Kalimagnesia unter normalen Verhältnissen ein harmonisches Kalium/Magnesium-Verhältnis im Boden.

Ein weiterer Gesichtspunkt für die Verwendung von Kalimagnesia ist das Vorliegen von Kalium und Magnesium in der Sulfatform. Wie allgemein bekannt ist, reagiert die Rebe auf eine chlorreiche Düngung negativ, wenn auch nach

HANNEMANN (1964) hin und wieder eine Kaliumchlorid-Düngung positiv sein kann. DILLEY et al. (1958) berichten über Wasserkulturversuche mit verschiedenen Obstgehölzen und Reben, welchen zufolge die Steigerung der Chlorversorgung auf 665 ppm das Rebenwachstum verringerte, während die gleiche Sulfatkonzentration noch keinerlei negative Einflüsse hervorrief. Der Chloridgehalt des Rebblattes war direkt mit der Chlorgabe korreliert, der Sulfatgehalt ebenfalls. Eine hohe Chloridgebung verringerte den Sulfatgehalt und den Magnesiumgehalt des Rebblattes.

Die Anlage des Versuches Worms-Abenheim erfolgte am 17. II. 1966. Der Bodenfeuchtezustand war für die Bearbeitung günstig.

Bodenfeuchtigkeit (in Gew. % Boden-Tr. M.) des Versuchsstandortes Worms-Abenheim am 17. II. 1966

| Tiefe cm           | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 |
|--------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| % H <sub>2</sub> O | 15,6 | 14,0  | 14,0  | 14,0  | 13,4  |

Die Bodenbehandlungsvariante A erhielt Kalimagnesia breitwürfig auf die Krume ausgestreut und mit dem vorwinterlichen Anpflügen der Stöcke ca. 15 cm tief eingearbeitet.

In der Bodenbehandlungsvariante C erfolgte der gleiche Arbeitsgang des Anpflügens der Reben wie in der Variante A. Sodann wurde in Gassenmitte eine 20 cm tiefe Furche ausgepflügt. Bei diesem Arbeitsgang erschienen hin und wieder feine Rebwurzeln an der Oberfläche. Der Boden krümelte vorzüglich und rieselte zum Teil in die Furche zurück. Diese war daher an ihrer Sohle ca. 25 - 30 cm breit. Nachdem die für jede Gasse und Variante abgewogenen Kalimagnesia-Mengen in die Furchen ausgestreut worden waren, erfolgte der Einsatz des Lockerungsschwertes. Es konnte eine weitere Arbeitstiefe von 25 - 28 cm erreicht werden, wobei die Sternradachse (die Sternräder waren entfernt) den Kalium-Dünger schon leicht mit den oberen Zentimetern Boden vermischte. Dem Schlepper wurde bei diesem und dem nächsten Arbeitsgang eine Seilwinde zur Unterstützung vorgeschaltet, so daß



Abbildung 19  
Depotstreifen vor Einmischung der Kalium-Düngung

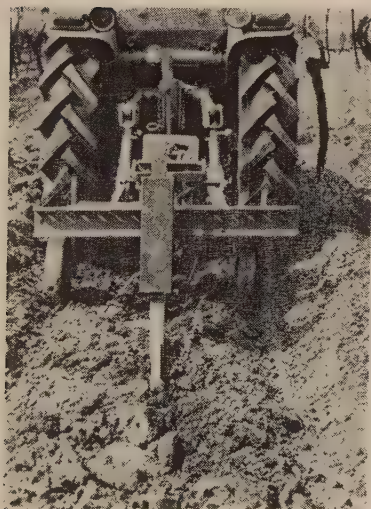


Abbildung 20  
Lockerungsschwert im Einsatz



Abbildung 21  
Rebegasse nach Vollendung des Depotstreifens

zünftig gefahren werden konnte. Beim 2. Arbeitsgang sollten die Sternräder zur besseren Einmischung Verwendung finden, bewährten sich jedoch nicht, da sich der Boden vor ihnen staute und zu sehr nach den Seiten abfloß. Aus diesem Grunde wurde ohne Sternräder gefahren, so daß die Sternradachse ca. 10 cm unter dem bereits gelockerten Bodenniveau verlief. Der Boden wurde nochmals angehoben, krümelte über die Achse hinweg und vermischte sich mit dem Dünger. Es verblieb eine ebene Oberfläche. Bei beiden Lockerungsdurchgängen wurde eine größere Anzahl von ca. bleistiftstarken und dünneren Wurzeln bis maximal 1,80 m Länge mit herausgezogen. Durch die zur Anlage des Depotstreifens erforderlichen Arbeitsgänge wurde die Bodenbehandlungsvariante C 3mal befahren, während in A nur 1 Arbeitsgang notwendig war. Die vom Schlepper verursachten Fahrspuren konnten beim Lockerungsvorgang durch den breiten Aufbruchwinkel des Schwertes noch miterfaßt und angehoben werden.

Der Versuch Essingen wurde am 25. 4. 1967 bei günstiger Witterung und Bodenfeuchtigkeit angelegt.

Bodenfeuchtigkeit (in Gew. % Boden-Tr. M.) des Versuchsstandortes Essingen am 25. 4. 1967

| Tiefe cm           | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 |
|--------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| % H <sub>2</sub> O | 18,9 | 20,2  | 19,3  | 19,3  | 18,2  |

Zunächst wurden in der Variante A die noch vom Winter zugepflügten Reben abgepflügt, so daß die Rebassen eine ebene Oberfläche aufwiesen. Sodann konnten die gesteigerten Kalium-Gaben breitwürfig verabreicht und eingegrubbert werden. Für die beiden Behandlungen B und C wurde der Oberboden ca. 15 cm tief in Gassenmitte grabenförmig ausgepflügt. Während nun in B eine zweimalige Lockerung ohne Düngung erfolgte, wurde in C zuerst die gestaffelte Düngung verabreicht (Abb. 19) und durch zweimaliges Arbeiten mit dem Schwert mit dem Boden vermischt (Abb. 20, 21). Anschließend



Abbildung 22  
Beim Lockerungsvorgang abgerissene Rebwurzeln



Abbildung 23  
Büscheiförmig regenerierte Rebwurzel aus dem Depotstreifen

an diese Arbeitsgänge wurden beide Behandlungen abgepflügt. C war damit fertiggestellt. In B wurde die breitwürfige Kalium-Düngung wie in A vorgenommen.

Die Lockerungsarbeiten erfolgten mit 2 gekoppelten 28 PS Eicher-Puma-Schleppern.

Infolge des bereits angebrochenen Frühjahrs waren die Reben schon im Saft. Die Wurzelbeschädigungen führten daher zu starken Blutungen an den Schnitt- oder Rißwunden.

Die Versuchsausführung hat gezeigt, daß in der Regel für eine Tiefendüngungsmaßnahme der Spätherbst nach erfolgtem Wachstumsabschluß der Reben der richtige Zeitpunkt sein dürfte. Im Frühjahr ist zunächst, solange sich die Reben noch in Winterruhe befinden, der Boden für eine gefahrlose Bearbeitung zu feucht. Wartet man das Abtrocknen ab, so sind die Reben bereits im Saft und die Maßnahme wird sie schädigen. Das Lockerungsgerät konnte in der verwendeten Form nicht voll befriedigen. Der Zugkraftbedarf ist hoch. Abgerissene Wurzeln (Abb. 22) führten zu Verstopfungen und vermindertem Tiefgang. Die Sternräder bewirkten keinen genügenden Mischeffekt und behinderten den Tiefgang. Sie wurden inzwischen durch schrägverlaufende Ketten mit besserer Wirkung ersetzt (HOMRIGHAUSEN 1970).

Die Angabe von SCHULTE-KARRING (1968), daß sich abgeschnittene Wurzeln schnell wieder zu regenerieren vermögen, kann bestätigt werden. Aufgrabungen im Depotstreifenbereich in Worms-Abenheim am 24. 10. 1967 förderten an der Schnittstelle büschelförmig verzweigte Rebwurzeln zutage (Abb. 23).

### 3.2.1.3. Untersuchungsmethoden

#### Porengrößenverteilungsanalyse

Zur Ermittlung der Porengrößenverteilung fanden 100 ccm-Edelstahl-Stechzylinder Verwendung. Mit diesen wurden am Versuchsstandort Bodenproben in 8facher Wiederholung entnommen und im Labor mit Hilfe des Pressure Plate Extractors (nach RICHARDS und FIREMAN 1943) der Soilmoisture Equipment Corp. Santa Barbara, California USA untersucht. Die Bestimmung der Druckstufe 15 Atü erfolgte (nach RICHARDS 1941) in der Druckmembran-Apparatur der Fa. Joh. Stiel, Hannover.

#### Bodenwiderstandsmessung

Die Rammsonde nach FREI und KELLER (1957) und v. BOGUSLAWSKI und LENZ (1958) ist geeignet, die Wirkung verschiedener Bodenbehandlungen auf den Bodenwiderstand zu erfassen. Abweichend von diesen Autoren wird in vorliegender Arbeit nicht eine Verrechnung der erhaltenen Meßwerte in Widerstandseinheiten vorgenommen, sondern auf eine Anregung von HOCHMUTH (zit. HOMRIGHAUSEN u. HOCHMUTH 1970) hin eine eigene relative Form der Auswertung angewandt (BUDIG 1968). Diese erfordert für die zu vergleichenden Messungen eine einheitliche, den Bodenbedingungen angepaßte Fallhöhe des die Sonde in den Boden einrammenden Fallgewichts. Um die im Bereich der Rebasse vorhandenen unterschiedlich mechanisch beanspruchten Bodenbereiche erfassen zu können, werden, beginnend unter den Reben, alle 15 cm Sondenmessungen in 6 - 8facher Wiederholung bis in 50 cm Tiefe vorgenommen und bis in Gassenmitte fortgeführt. Man erhält so ein Querschnittsbild des Bodenwiderstandes der Rebasse bis in die gemessene Tiefe.

Die relative Auswertung geschieht folgendermaßen:

Der bei der Sondenmessung erhaltene Registrierstreifen mit den Markierungsstrichen, welche die Eindringtiefe der Sonde von Schlag zu Schlag darstellen, wird in die Tiefenbereiche 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 und 40-50 cm eingeteilt. Sodann wird für jeden Bereich die Anzahl der Striche auf dem Streifen gezählt und vermerkt. In einer Tabelle werden nun für jeden Meßpunkt die erwähnten Tiefenbereiche und Wiederholungen aufgetragen und die Mittelwerte errechnet. Ist dieses für alle Meßpunkte quer zur Rebasse erfolgt, müssen die erhaltenen Mittelwerte zueinander in Beziehung gesetzt werden. Dies geschieht, indem man die Mittelwerte aller Tiefenbereiche der Messung unter den Rebstöcken gleich 100 setzt und alle anderen Mittelwerte darauf bezieht. Die Werte unter den Reben wurden deswegen als Bezugsgrößen gewählt, weil der Boden dort weder befahren noch begangen wird und im allgemeinen die günstigste Struktur erwarten läßt. Die so erhaltenen Relativwerte lassen sich nun in ein Koordinatensystem eintragen. Die Ordinate erhält eine Prozenteinteilung, während auf der Abszisse mit Zentimetereinteilung die Meßpunkte quer zur Rebasse angegeben werden. Die sich aus den relativen Prozentzahlen für jeden Tiefenbereich ergebende Kurve zeigt nun deutlich die

relativen Widerstandsverhältnisse quer zur Rebgrasse an. Verläuft die Kurve über der 100 %-Linie, ist der Bodenwiderstand größer, verläuft sie darunter, ist er kleiner als unter den Reben.

Die Aussagekraft der Sondenmessung wird noch erhöht und das Strukturbild des betreffenden Bodens vervollständigt, wenn eine Porenverteilungsanalyse oder die Ermittlung des Gesamtporenvolumens (GPV) bzw. des Substanzvolumens parallel zu den Punkten der Sondenmessung vorgenommen wird. Errechnet man für das Substanzvolumen (SV) wiederum wie beim Bodenwiderstand (BW) die Relativwerte und trägt die erhaltenen Zahlen in das gleiche Koordinatensystem ein, so erhält man ein Bild von der relativen Höhe des SV quer zur Rebgrasse für jeden Tiefenbereich. Gleichzeitig wird die Abhängigkeit des BW vom SV erkennbar, d. h. mit steigendem SV erhöht sich der BW bzw. mit steigendem GPV erniedrigt sich derselbe.

Hat man sich auf diese Weise ein Bild von den relativen Bodenunterschieden innerhalb der Varianten eines Versuches gemacht, kann man in gleicher Weise die relativen Unterschiede zwischen den Varianten bzw. zwischen den Versuchsvarianten und der Bezugsvariante (O-Variante) graphisch darstellen. In diesem Fall wird jeder erhaltene Mittelwert der Bezugsvariante = 100 gesetzt und für den entsprechenden Wert der anderen Variante der Relativwert errechnet.

Zeichnet man die erhaltenen Werte in ein Koordinatensystem ein, so zeigen die Kurven die relativen Unterschiede zwischen beiden Varianten auf. Verlaufen die erhaltenen Kurven über der 100 %-Geraden, so sind BW bzw. SV größer als in der Bezugsvariante, unterschreiten sie diese, so sind BW bzw. SV geringer.

Ausdrücklich betont werden muß jedoch die Tatsache, daß solche Vergleiche nur möglich sind, wenn die Schlämmanalyse keinen nennenswerten Texturunterschied zwischen den Varianten aufgezeigt hat. Ebenfalls sollte der Wassergehalt der verglichenen Varianten kaum Unterschied aufweisen, da er für die Höhe des Bodenwiderstandes mitbestimmend ist. Entsprechen sich Bodentextur und -wassergehalt, so ist der BW überwiegend vom SV bzw. GPV und der Stabilität des Bodengefüges abhängig. Wie v. BOGUSLAWSKI und LENZ (1958) anhand von Modellversuchen zeigen konnten, besteht bei einem mittleren Wassergehalt des Bodens (Lößlehm) von 16 - 20 Gew. % und einem GPV von 44 - 45 % (SV 56 - 55 %) und größer eine annähernd lineare Beziehung zwischen BW und GPV. Unterschreitet das GPV jedoch die oben genannte Grenze, so wächst der BW mit abnehmendem GPV progressiv an. Da neben dem GPV auch die Stabilität des Bodengefüges für den BW bestimmend ist, uns aber die bekannten Methoden zur Erfassung der Stabilität des Bodengefüges für diesen Zweck ungeeignet erscheinen, ist es nicht möglich, den BW in seine Komponenten zu zerlegen.

Wenn man sich jedoch in dem eben gekennzeichneten Bereich des Porenvolumens 44 - 45 % befindet, wo mit steigendem GPV der Widerstand linear abnimmt, kann man die relativen Verhältnisse der Stabilität des Bodengefüges in ihrer Tendenz kennzeichnen, indem man den Relativwert des BW eines jeden Meßpunktes und Tiefenbereiches durch den entsprechenden Relativwert des SV dividiert. Dadurch erhält man einen Faktor. Die Faktoren der Meßpunkte eines Tiefenbereiches lassen sich jeweils zu einer Kurve verbinden. Liegen die Punkte dieser Kurven nun auf der Bezugslinie 1, so entspricht dort die Stabilität des Bodengefüges derjenigen unter den Reben. Verläuft die Kurve über dieser Linie, ist sie erhöht, bewegt sie sich darunter, ist die Stabilität des Bodengefüges schwächer ausgebildet als unter den Reben. In analoger Weise läßt sich die Stabilität des Bodengefüges zweier Varianten vergleichen.

### Entnahme von Pflanzenmaterial

Zur Untersuchung des Kalium-Ernährungszustandes der Reben erfolgte in Worms-Abenheim in den Jahren 1967, 1968 und 1969 und in Essingen 1968 und 1969 nach der Ernte die Entnahme von Pflanzenmaterial. Als repräsentatives Organ der Rebpfanze wurde der 3. Trieb an der Bogrebe ausgewählt und dieser sofort bei der Entnahme in Sproßachse, Blattstiele und Blattspreiten zerlegt. Pro Versuchs-Variante wurden von 6 Reben Triebe entnommen und jeweils 2 Triebe zu einer Probe vereinigt. Da die Blattspreiten im Fall der Anlage in Worms-Abenheim im September 1968 völlig vom Hagel abgeschlagen worden waren, wurde auf die Analyse der Spreiten verzichtet. Zudem eignen sich die Blattstiele zur Charakterisierung des Kalium-Ernährungszustandes der Reben besser als die Blattspreiten (ULRICH 1942, LARSEN 1955, ARCHIBALD 1956, BERGMANN et al. 1959 und LARSEN et al. 1963). Die gesamte Sproßachse wurde zerschnitten und bei 105°C getrocknet. Anschließend erfolgte nach vorherigem, intensivem Mischen, die staubfeine Vermahlung eines Drittels des Materials. Sämtliche Blattstiele des Triebes wurden ebenfalls bei 105°C getrocknet und gemahlen.

Im Falle der Anlage Essingen machte die Entnahme gleichwertiger Triebe Schwierigkeiten. Infolge des Hagelschadens im Mai 1968 war in vielen Fällen ein 3. Trieb an der entsprechenden Bogrebenposition nicht vorhanden oder andere Triebe fehlten, so daß dieser Trieb entweder für den Anschnitt benötigt wurde oder aber besonders üppig entwickelt war. Der Traubenbehang der Stöcke war sehr unregelmäßig. Je nach Schädigung der Gescheine wies der entnommene 3. Trieb 2, 1 oder keine Traube auf. Entsprechend unterschiedlich war demzufolge die Belastung der Stöcke und Einzeltriebe. Im Jahre 1969 machten sich die im Vorjahr entstandenen Hagelschäden noch in der Ungleichmäßigkeit der Stöcke bemerkbar. In beiden Versuchsjahren wurden, falls der dritte Trieb nicht zur Verfügung stand, andere Triebe in möglichst ähnlicher Ausbildung in anderer Position an der Bogrebe entnommen und

für die Analyse verwendet. Eine gewisse Heterogenität des Materials war dennoch nicht zu vermeiden.

### 3. 2. 2. Einfluß der Tiefendüngungsmaßnahme auf die physikalischen Bodeneigenschaften

#### 3. 2. 2. 1. Porengrößenverteilung

Über die lockernde Wirkung des verwendeten Gerätes und die Nachhaltigkeit dieser meliorativen Maßnahme liegen bereits umfangreiche Untersuchungen von HOMRIGHAUSEN (1966) und HOMRIGHAUSEN und HOCHMUTH (1970) vor. Die Auflockerung selbst nach Einsatz des Schwertes ist nicht zu bestreiten, deren Andauer ist in der Regel jedoch nur dann nachhaltig gewährleistet, wenn der mechanisch aufgebrochene Boden durch eingemischte organische oder mineralische Materialien und den direkten Einfluß angesäter Pflanzen stabilisiert wird.

Um den Einfluß der Lockerungsmaßnahme auf die Porengrößenverteilung im Boden erfassen zu können, wurden erste Stechzylinderproben 5 Monate nach Versuchsanlage entnommen. Bereits bei der Entnahme machte die sachgerechte Füllung der Stechzylinder große Schwierigkeiten. Der Boden war im Depotstreifenbereich noch sehr locker und mit Hohlräumen durchsetzt. Die eingeschlagenen Zylinder füllten sich daher nur ungenügend. Mit viel Sorgfalt trotzdem entnommene Stechzylinderproben entzogen sich dann leider im Labor einer weiteren Analyse. Sie sackten bei der Sättigung mit Wasser, infolge der Labilität des Bodengefüges, völlig zusammen. Über gleiche Schwierigkeiten berichteten auch HOMRIGHAUSEN und HOCHMUTH (1970). 1 Jahr nach Versuchsanlage hatte sich das Bodengefüge wieder gefestigt und machte eine Porengrößenverteilungsanalyse möglich.

Tabelle 6

Worms-Abenheim, Porengrößenverteilung (in Vol. %) in der Behandlung A (Oberflächendüngung) quer zur Rebasse in 15, 35 und 55 cm Tiefe am 21. II. 1967

| Tiefe<br>cm      | schnell dränende<br>Poren                         | Summe     | langsam<br>dränende<br>Poren | Gesamt-Porenv.<br>drän., kapaz.,<br>selbst- Feld-<br>Wasser | pflanzen-<br>verfüg.,<br>Wasser | Tot-<br>wasser | GPV        |
|------------------|---------------------------------------------------|-----------|------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------|------------|
| 15               | $p \begin{matrix} 0-1,4 \\ >120 \mu \end{matrix}$ |           |                              |                                                             |                                 |                |            |
|                  | 1,4-1,77                                          | <1,77     | 1,77-<br>2,54                | 0-<br>2,54                                                  | 2,54-<br>4,2                    | >4,2           |            |
|                  | 120-50 $\mu$                                      | >50 $\mu$ | 50-10 $\mu$                  | >10 $\mu$                                                   | <10 $\mu$                       | 10-0,2 $\mu$   | <0,2 $\mu$ |
| 35               | 14,8                                              | 4,4       | 8,2                          | 27,4                                                        | 25,1                            | 15,5           | 9,6        |
|                  | 11,6                                              | 3,1       | 7,8                          | 22,5                                                        | 26,8                            | 16,8           | 10,0       |
|                  | 6,1                                               | 1,9       | 6,0                          | 14,0                                                        | 30,0                            | 18,7           | 11,3       |
| 55               | 4,8                                               | 1,2       | 5,7                          | 11,7                                                        | 31,7                            | 20,3           | 11,4       |
|                  | 7,0                                               | 2,8       | 7,2                          | 17,0                                                        | 28,7                            | 17,2           | 11,5       |
|                  | 9,8                                               | 3,5       | 7,6                          | 20,9                                                        | 28,2                            | 17,9           | 10,3       |
| Reb-<br>zeile    | 18,4                                              | 4,1       | 8,1                          | 30,6                                                        | 24,0                            | 15,5           | 8,5        |
|                  | 16,8                                              | 4,3       | 21,1                         | 29,2                                                        | 24,1                            | 15,3           | 8,8        |
|                  | 14,0                                              | 4,0       | 8,1                          | 26,1                                                        | 25,6                            | 16,5           | 9,1        |
| Gassen-<br>mitte | 13,8                                              | 4,2       | 7,9                          | 25,9                                                        | 25,3                            | 16,1           | 9,2        |
|                  | 15,7                                              | 2,7       | 6,6                          | 25,0                                                        | 26,0                            | 16,7           | 9,3        |
|                  | 13,5                                              | 3,6       | 6,1                          | 23,2                                                        | 25,7                            | 16,4           | 9,3        |
| 55               | 6,4                                               | 1,8       | 8,2                          | 17,5                                                        | 28,1                            | 19,6           | 8,5        |
|                  |                                                   |           | 9,3                          |                                                             |                                 |                | 45,6       |
|                  |                                                   |           |                              |                                                             |                                 |                |            |

Tabelle 7

Worms-Abenheim. Porengrößenverteilung (in Vol. %) in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) quer zur Rebasse in 15, 35 und 55 cm Tiefe am 21. II. 1967

| Tiefe<br>cm                                                                               | schnell dränende<br>Poren  | Summe                    | langsam<br>dränende<br>Poren | Gesamt-Porenv.<br>selbst-<br>drän. | Feld-<br>kapaz.              | pflanzen-<br>verfüg-<br>bar<br>Wasser | Tot-<br>wasser               | GPV                        |                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| <hr/>                                                                                     |                            |                          |                              |                                    |                              |                                       |                              |                            |                              |
| F                                                                                         |                            |                          |                              |                                    |                              |                                       |                              |                            |                              |
| p                                                                                         |                            |                          |                              |                                    |                              |                                       |                              |                            |                              |
| 0-1,4 1,4-1,77 <1,77                                                                      |                            |                          |                              |                                    |                              |                                       |                              |                            |                              |
| 1,77- 2,54                                                                                |                            |                          |                              |                                    |                              |                                       |                              |                            |                              |
| 2,54 2,54                                                                                 |                            |                          |                              |                                    |                              |                                       |                              |                            |                              |
| <hr/>                                                                                     |                            |                          |                              |                                    |                              |                                       |                              |                            |                              |
| >120 $\mu$ 120-50 $\mu$ >50 $\mu$ 50-10 $\mu$ >10 $\mu$ <10 $\mu$ 10-0,2 $\mu$ <0,2 $\mu$ |                            |                          |                              |                                    |                              |                                       |                              |                            |                              |
| <hr/>                                                                                     |                            |                          |                              |                                    |                              |                                       |                              |                            |                              |
| 15                                                                                        |                            |                          |                              |                                    |                              |                                       |                              |                            |                              |
| Reb-<br>zeile                                                                             | 14,8<br>12,8<br>8,0<br>8,5 | 3,2<br>3,2<br>1,7<br>1,3 | 18,0<br>16,0<br>9,7<br>9,8   | 7,3<br>7,7<br>6,5<br>5,8           | 25,3<br>23,7<br>16,2<br>15,6 | 26,7<br>26,8<br>30,2<br>30,0          | 17,0<br>17,5<br>20,1<br>20,0 | 9,7<br>9,3<br>10,1<br>10,0 | 52,0<br>50,5<br>46,4<br>45,6 |
| Gassen-<br>mitte                                                                          | 14,8<br>18,5               | 3,6<br>4,1               | 18,4<br>22,6                 | 6,8<br>6,7                         | 25,2<br>29,3                 | 29,8<br>22,8                          | 20,1<br>13,8                 | 9,7<br>9,0                 | 55,0<br>52,1                 |
| 35                                                                                        |                            |                          |                              |                                    |                              |                                       |                              |                            |                              |
| Reb-<br>zeile                                                                             | 16,1<br>15,4<br>14,0       | 3,7<br>4,1<br>4,1        | 19,8<br>19,5<br>18,1         | 7,7<br>8,0<br>7,9                  | 27,5<br>27,5<br>26,0         | 24,1<br>24,8<br>25,2                  | 15,2<br>16,0<br>16,1         | 8,9<br>8,8<br>9,1          | 51,6<br>52,3<br>51,2         |
| Gassen-<br>mitte                                                                          | 12,2<br>14,9<br>16,7       | 3,8<br>3,8<br>4,0        | 16,0<br>18,7<br>20,7         | 7,7<br>6,5<br>7,0                  | 23,7<br>25,2<br>27,7         | 25,0<br>25,1<br>28,1                  | 16,3<br>16,0<br>19,3         | 8,7<br>9,1<br>8,8          | 48,7<br>50,3<br>55,8         |
| 55                                                                                        |                            |                          |                              |                                    |                              |                                       |                              |                            |                              |
|                                                                                           | 7,3                        | 1,9                      | 9,2                          | 9,2                                | 18,4                         | 27,3                                  | 19,3                         | 8,0                        | 45,7                         |

Die Rebasse kann man in 3 unterschiedlich mechanisch beanspruchte Bodenbereiche untergliedern:

1. Unter den Reben
2. Schlepperspur
3. Gassenmitte (zwischen den Schlepperspuren)

In beiden Hälften der Rebasse sind diese Bereiche spiegelbildlich angeordnet. Es reicht daher aus, lediglich eine Gassenhälfte zu untersuchen. Um nun die benannten Gassenbereiche erfassen zu können, wurden die Stechzylinderproben, beginnend unter den Reben, in 15 cm Abständen bis zur Gassenmitte in 8facher Wiederholung in den 3 Tiefen 15, 35 und 55 cm entnommen. In den Tabellen 6 und 7 sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen für den Standort Worms-Abenheim aufgeführt. Sie spiegeln die unterschiedlichen Gassenbereiche in allen Porengrößen in der Tiefe von 15 cm besonders deutlich und in der Tiefe 35 cm weniger ausgeprägt wider. In 55 cm Bodentiefe waren keine Unterschiede mehr vorhanden.

Der Bodenbereich unter den Reben der Bodenbehandlungsvarianten A weist in 15 cm Tiefe, infolge des Fehlens jeglichen Bodendrucks durch Befahren oder Betreten, das größte Porenvolumen auf. Diese Überlegenheit den anderen Bereichen gegenüber läßt sich an allen selbstdrainierenden Porengrößen erkennen. Infolge des großen Anteils spannungsfreier Poren ist die Feldkapazität erniedrigt. Der Prozentsatz an pflanzenverfügbarem Wasser und nichtpflanzenverfügbarem Wasser (Totwasser) verringert sich. Im Bereich der Schlepperspur wird durch den häufigen Bodendruck und das Befahren des Bodens auch in feuchtem Zustand zum Zwecke des Pflanzenschutzes der Gehalt des Bodens an luftführenden, d. h. selbstdrainierenden Poren, in allen Größenordnungen erheblich vermindert. Mit der Abnahme des Luftporenvolumens und des Gesamtporenvolumens nehmen Feldkapazität, pflanzenverfügbares Wasser und nichtpflanzenverfügbares Wasser zu. Das Porenvolumen des Bereiches zwischen den Schlepperspuren nimmt eine

Mittelstellung zwischen den beiden vorgenannten Bodenbereichen ein.

In der Behandlungsvariante C ergibt sich unter den Reben eine ebensolche Porenverteilung wie in der Variante A. Im Schlepperspurbereich erfolgt eine Zunahme der Poren  $> 120 \mu$ . Der größte Effekt der Lockerungsmaßnahme zeigt sich natürlich in Gassenmitte im Bereich zwischen den Schlepperrädern. Hier wird ein Luftporenvolumen erreicht, welches im Randbereich des Depotstreifens dasjenige des Bereiches unter den Reben erreicht und im Zentrum noch übertrifft. Dadurch tritt eine Abnahme von Feldkapazität, pflanzenverfügbarem Wasser und nichtpflanzenverfügbarem Wasser ein. Das Gesamtporenvolumen ist ebenso hoch bzw. höher als unter den Reben.

In der Tiefe von 35 cm sind die Behandlungen A und C recht ähnlich. Die 3 verschiedenen Bodenbereiche lassen sich aus der Porengrößenverteilung noch erkennen. Der Lockerungseffekt macht sich in der Behandlung C lediglich noch im Depotstreifen deutlich bemerkbar. Das Gesamtporenvolumen ist gegenüber der Behandlung A erhöht, ebenso alle Werte der selbstdrainierenden Poren. Trotzdem ergibt sich infolge des höheren Gesamtporenvolumens keine Verringerung von Feldkapazität und pflanzenverfügbarem Wasser.

In 55 cm Tiefe unterhalb des gelockerten Bodenraumes unterschieden sich die Behandlungen nicht voneinander.

Eine weitere Untersuchung der Porenverteilung wurde im Frühjahr 1968 vorgenommen. Das Resultat ist den Tabellen 8 und 9 zu entnehmen. Es bestätigt die bereits in der vorhergehenden Untersuchung gefundenen Unterschiede. Der Depotstreifen ist anhand der Porenverteilung noch zu erkennen und weist eine porösere Struktur auf als die Kontrolle. Zu einem Zusammenbrechen des mechanisch aufgelockerten Bodens und einer Dichtlagerung, wie sie nach HOMRIGHAUSEN und HOCHMUTH (1970) hätte eintreten können,

Tabelle 8

Worms-Abenheim, Porengrößenverteilung (in Vol. %) in der Behandlung A (Oberflächendüngung) quer zur Reb-  
gasse in 15, 35 und 55 cm Tiefe am 17. 4. 1968

| Tiefe<br>cm      | schnell dränende<br>Poren | Summe                | langsam<br>dränende<br>Poren | Gesamt-Porenv.<br>selbst-<br>drän.,<br>kapaz. | pflanzen-<br>verfügb.<br>Wasser | Tot-<br>wasser          | GPV                     |                        |                         |
|------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
|                  | $\bar{p}$ 0-1, 4          | 1, 4-1, 77           | <1, 77                       | 1, 77-<br>2, 54                               | 2, 54-<br>4, 2                  | > 4, 2                  |                         |                        |                         |
|                  | $> 120 \mu$               | 120-50 $\mu$         | $> 50 \mu$                   | 50-10 $\mu$                                   | $> 10 \mu$                      | $< 10 \mu$              | $< 0, 2 \mu$            |                        |                         |
| 15               |                           |                      |                              |                                               |                                 |                         |                         |                        |                         |
| Reb-<br>zeile    | 12, 4<br>11, 5<br>5, 9    | 5, 7<br>5, 3<br>2, 4 | 18, 1<br>16, 8<br>5, 3       | 9, 4<br>9, 1<br>7, 6                          | 27, 5<br>25, 9<br>15, 9         | 24, 8<br>25, 0<br>29, 1 | 15, 0<br>15, 4<br>19, 1 | 9, 8<br>9, 6<br>10, 0  | 52, 3<br>50, 9<br>45, 0 |
| Gassen-<br>mitte | 6, 9<br>8, 1<br>9, 5      | 2, 0<br>3, 1<br>5, 2 | 8, 9<br>11, 2<br>14, 7       | 7, 5<br>7, 3<br>8, 6                          | 16, 4<br>18, 5<br>23, 3         | 28, 8<br>28, 5<br>26, 7 | 19, 0<br>17, 8<br>16, 1 | 9, 8<br>10, 7<br>10, 6 | 45, 2<br>47, 0<br>50, 0 |
| 35               |                           |                      |                              |                                               |                                 |                         |                         |                        |                         |
| Reb-<br>zeile    | 12, 3<br>10, 8<br>9, 2    | 7, 0<br>6, 3<br>4, 9 | 19, 3<br>18, 1<br>14, 1      | 8, 9<br>8, 8<br>8, 7                          | 28, 2<br>16, 9<br>22, 8         | 23, 8<br>14, 5<br>26, 0 | 15, 0<br>15, 5<br>16, 7 | 8, 8<br>9, 0<br>9, 3   | 52, 0<br>51, 4<br>48, 8 |
| Gassen-<br>mitte | 8, 6<br>10, 6<br>10, 0    | 6, 6<br>6, 4<br>6, 1 | 5, 2<br>17, 0<br>16, 9       | 9, 6<br>9, 1<br>8, 9                          | 24, 8<br>26, 1<br>25, 8         | 25, 6<br>25, 6<br>25, 4 | 16, 4<br>16, 3<br>16, 4 | 9, 2<br>9, 3<br>9, 0   | 50, 4<br>51, 7<br>51, 2 |
| 55               |                           |                      |                              |                                               |                                 |                         |                         |                        |                         |
|                  | 6, 5                      | 2, 1                 | 8, 6                         | 9, 7                                          | 18, 3                           | 27, 7                   | 19, 0                   | 8, 7                   | 46, 0                   |

Tabelle 9

Wormis-Abenheim. Porengrößenverteilung (in Vol. %) in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) quer zur Rebasse in 15, 35 und 55 cm Tiefe am 17. 4. 1968

| Tiefe<br>cm      | schnell dränende<br>(Poren) | Summe                | langsam<br>dränende<br>Poren | Gesamt-Porenv.<br>selbst-<br>drän. | Feld-<br>kapaz.         | pflanzen-<br>verfügb.<br>Wasser | Tot-<br>wasser          | GPV                     |
|------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| $F_p$            | 0-1, 4                      | 1, 4-1, 77           | 1, 77-<br>2, 54              | 0-<br>2, 54                        | > 2, 54                 | 2, 54-<br>4, 2                  | > 4, 2                  |                         |
|                  | > 120 $\mu$                 | 120-50 $\mu$         | 50-10 $\mu$                  | > 10 $\mu$                         | < 10 $\mu$              | 10-0, 2 $\mu$                   | < 0, 2 $\mu$            |                         |
| 15               |                             |                      |                              |                                    |                         |                                 |                         |                         |
| Reb-<br>zeile    | 13, 6<br>11, 4<br>8, 6      | 5, 5<br>6, 3<br>2, 4 | 19, 1<br>17, 7<br>11, 0      | 8, 8<br>8, 7<br>6, 0               | 27, 9<br>26, 4<br>17, 0 | 25, 6<br>26, 3<br>29, 9         | 15, 6<br>16, 2<br>19, 9 | 53, 5<br>52, 7<br>46, 9 |
| Gassen-<br>mitte | 6, 9<br>14, 4<br>12, 0      | 2, 6<br>6, 0<br>6, 7 | 9, 5<br>20, 4<br>18, 7       | 6, 4<br>7, 8<br>7, 3               | 15, 9<br>28, 2<br>26, 0 | 30, 4<br>27, 4<br>27, 1         | 20, 1<br>17, 7<br>17, 3 | 46, 3<br>55, 6<br>53, 1 |
| 35               |                             |                      |                              |                                    |                         |                                 |                         |                         |
| Rebzeile         | 15, 1<br>14, 7<br>10, 9     | 5, 0<br>4, 9<br>5, 9 | 20, 1<br>19, 6<br>16, 8      | 8, 2<br>8, 4<br>9, 0               | 28, 3<br>28, 0<br>25, 8 | 23, 8<br>24, 0<br>25, 3         | 15, 0<br>16, 1<br>16, 1 | 52, 1<br>52, 0<br>51, 1 |
| Gassen-<br>mitte | 10, 8<br>13, 3<br>15, 9     | 5, 5<br>4, 5<br>5, 1 | 16, 3<br>17, 8<br>21, 0      | 9, 1<br>8, 6<br>8, 7               | 25, 4<br>26, 4<br>29, 7 | 25, 3<br>26, 1<br>24, 7         | 16, 3<br>15, 0<br>15, 9 | 50, 7<br>52, 5<br>54, 4 |
| 55               |                             |                      |                              |                                    |                         |                                 |                         |                         |
|                  | 8, 8                        | 2, 5                 | 11, 3                        | 9, 1                               | 20, 4                   | 27, 4                           | 18, 9                   | 47, 8                   |

Tabelle 10

Essingen, Porengrößenverteilung (in Vol. %) in der Behandlung A (Oberflächendüngung) quer zur Rebgrasse in 15, 35 und 55 cm Tiefe am 15. 5. 1968

| Tiefe<br>cm      | schnell dränende<br>Poren | Summe             | langsam<br>dränende  | Gesamt-Porenv.<br>selbst-<br>drän. | Feld-<br>kapaz.      | pflanzen-<br>verfügb.<br>Wasser | Tot-<br>wasser       | GPV                  |
|------------------|---------------------------|-------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|
| 15               | F                         |                   |                      |                                    |                      |                                 |                      |                      |
|                  | 0-1,4                     | 1,4-1,77          | <1,77                | 1,77-<br>2,54                      | 0-<br>2,54           | 2,54-<br>4,2                    | > 4,2                |                      |
|                  | > 120 $\mu$               | 120-50 $\mu$      | > 50 $\mu$           | 50-10 $\mu$                        | > 10 $\mu$           | 10-0,2 $\mu$                    | < 0,2 $\mu$          |                      |
| Reb-<br>zeile    | 10,2<br>9,2<br>6,1        | 2,4<br>2,7<br>1,4 | 12,6<br>11,9<br>7,5  | 3,5<br>3,9<br>3,5                  | 16,1<br>15,8<br>11,0 | 15,9<br>17,0<br>17,0            | 15,3<br>15,2<br>16,5 | 47,3<br>48,0<br>44,5 |
| Gassen-<br>mitte | 5,3<br>6,3<br>9,7         | 1,3<br>2,1<br>1,9 | 6,6<br>8,4<br>11,6   | 3,1<br>2,9<br>3,6                  | 9,7<br>11,3<br>15,2  | 17,6<br>16,2<br>15,6            | 16,6<br>16,6<br>15,9 | 43,9<br>44,1<br>46,7 |
| 35               | F                         |                   |                      |                                    |                      |                                 |                      |                      |
|                  | 0-1,4                     | 1,4-1,77          | <1,77                | 1,77-<br>2,54                      | 0-<br>2,54           | 2,54-<br>4,2                    | > 4,2                |                      |
|                  | > 120 $\mu$               | 120-50 $\mu$      | > 50 $\mu$           | 50-10 $\mu$                        | > 10 $\mu$           | 10-0,2 $\mu$                    | < 0,2 $\mu$          |                      |
| Reb-<br>zeile    | 10,7<br>10,8<br>10,1      | 2,0<br>1,7<br>2,1 | 12,7<br>12,5<br>12,2 | 2,8<br>3,1<br>2,7                  | 15,5<br>15,6<br>14,9 | 13,6<br>15,7<br>15,6            | 17,5<br>16,7<br>16,5 | 46,6<br>48,0<br>47,0 |
| Gassen-<br>mitte | 8,6<br>10,2<br>10,1       | 1,7<br>1,9<br>2,0 | 10,3<br>12,1<br>12,1 | 1,6<br>3,0<br>2,9                  | 11,9<br>15,1<br>15,0 | 14,9<br>13,5<br>15,5            | 17,8<br>17,3<br>17,3 | 44,6<br>45,9<br>47,8 |
| 55               | 8,6                       | 2,2               | 10,8                 | 3,8                                | 14,6                 | 18,8                            | 13,4                 | 46,8                 |

Tabelle 11

Essingen. Porengrößenverteilung (in Vol. %) in den Behandlungen B u. C (Lockerung und Oberflächendüngung) und (Tiefendüngung, Depotstreifen) quer zur Rebasse in 15, 35 und 55 cm Tiefe am 15. 5. 1968

| Tiefe<br>cm      | schnell dränende<br>Poren                   | Summe                                  | langsam<br>dränende<br>Poren                | Gesamt-Porenv.<br>selbst-<br>drän.     | Feld-<br>kapaz.                              | pflanzen-<br>verfüg.<br>Wasser               | Tot-<br>wasser                               | GPV                                          |                                              |
|------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                  | $p^F$ 0-1,4                                 | 1,4-177                                | 1,77-<br>2,54                               | 0-<br>2,54                             | 2,54                                         | > 2,54-<br>4,2                               | > 4,2                                        |                                              |                                              |
|                  | > 120 $\mu$                                 | 120-50 $\mu$                           | 50-10 $\mu$                                 | > 10 $\mu$                             | < 10 $\mu$                                   | 10-0,2 $\mu$                                 | < 0,2 $\mu$                                  |                                              |                                              |
| 15               |                                             |                                        |                                             |                                        |                                              |                                              |                                              |                                              |                                              |
| Reb-<br>zeile    | 9,0<br>8,5<br>6,3<br>5,5<br>7,8<br>9,6      | 2,3<br>2,2<br>1,2<br>1,1<br>2,0<br>2,7 | 11,3<br>10,7<br>7,5<br>6,6<br>9,8<br>12,3   | 3,6<br>3,9<br>3,0<br>2,7<br>3,2<br>3,2 | 14,9<br>14,6<br>10,5<br>9,3<br>13,0<br>15,5  | 32,2<br>32,1<br>33,7<br>34,7<br>32,5<br>30,5 | 15,3<br>15,0<br>15,8<br>16,7<br>15,1<br>13,2 | 16,9<br>17,1<br>17,9<br>18,0<br>17,4<br>17,3 | 47,1<br>46,7<br>44,2<br>44,0<br>45,5<br>46,0 |
| Gassen-<br>mitte |                                             |                                        |                                             |                                        |                                              |                                              |                                              |                                              |                                              |
| 35               |                                             |                                        |                                             |                                        |                                              |                                              |                                              |                                              |                                              |
| Reb-<br>zeile    | 11,9<br>10,6<br>10,9<br>6,7<br>21,3<br>20,3 | 2,7<br>3,2<br>2,2<br>1,7<br>1,4<br>2,4 | 14,6<br>13,8<br>13,1<br>8,4<br>23,7<br>22,7 | 3,3<br>3,2<br>3,3<br>3,2<br>3,2<br>3,2 | 17,9<br>17,0<br>16,4<br>11,6<br>26,9<br>25,9 | 31,5<br>30,0<br>30,6<br>33,0<br>27,5<br>28,3 | 14,9<br>12,5<br>13,1<br>15,0<br>12,5<br>13,2 | 16,6<br>17,5<br>17,5<br>18,0<br>15,0<br>15,1 | 49,4<br>48,4<br>47,0<br>44,6<br>54,4<br>54,2 |
| Gassen-<br>mitte |                                             |                                        |                                             |                                        |                                              |                                              |                                              |                                              |                                              |
| 55               |                                             |                                        |                                             |                                        |                                              |                                              |                                              |                                              |                                              |
|                  | 7,5                                         | 3,0                                    | 10,5                                        | 4,5                                    | 15,0                                         | 32,1                                         | 9,5                                          | 22,6                                         | 47,1                                         |

ist es noch nicht gekommen. Es bestehen weiterhin verbesserte Verhältnisse hinsichtlich des Gasaustausches und der Wasserführung im Depotstreifenbereich, wie sie für eine aktive Wurzelentwicklung günstig sind.

Eine in gleicher Weise wie in Worms-Abenheim 13 Monate nach Versuchsanlage vorgenommene Untersuchung der Porenverhältnisse des Standortes Essingen hat keine im wesentlichen abweichenden Ergebnisse erbracht. Auch hier ist eine deutliche Unterteilung der Rebasse in die 3 beschriebenen Bereiche vorzunehmen (Tab. 10, 11). Der Schlepperdruck ist sowohl in 15 als auch in 35 cm Tiefe deutlich, in 55 cm nicht mehr festzustellen. Die bei Anlage des Depotstreifens vorgenommene Lockerung ist, abweichend von Worms-Abenheim, in 15 cm Tiefe nicht mehr wirksam geblieben. Eine sehr eindeutige positive Nachwirkung der Lockerung ergibt sich für die Tiefe 35 cm. Während die Porenverteilung in der Behandlung A in Gassenmitte in dieser Tiefe mit den Verhältnissen unter den Reben verglichen werden kann, ist der Depotstreifen der Behandlung B und C dem entsprechenden Bereich unter den Reben weit überlegen. Die Vermehrung des Porenvolumens erfolgt ausschließlich im Porenbereich  $> 120 \mu$ . Diese Tatsache legt die Vermutung nahe, daß der Boden infolge des Aufbruchs noch größere Hohlräume enthält, die kaum als "Poren" zu bezeichnen sind. Infolge des hohen Tongehaltes des Bodens scheint ein sekundärer Zerfall der größeren Bodenbrocken bisher unterblieben und die Neubildung eines typischen Gefüges noch nicht erfolgt zu sein. Auf diese Weise besteht im Boden in dieser Tiefe ein Gesamtporenvolumen von 54 % bei einem Anteil von mehr als 20 % Poren  $> 120 \mu$ . Feldkapazität und pflanzenverfügbares Wasser wurden durch die Lockerungsmaßnahme wiederum etwas verringert. Der Tiefenbereich von 55 cm blieb von der Lockerungsmaßnahme unberührt.

Die Tatsache, daß die Lockerungswirkung im Oberboden nach einem Jahr bereits vollständig zurückgegangen war, muß auf den schlechten Bewirtschaftungszustand des Bodens zurückgeführt werden. So konnte er in dem nassen

Herbst 1967 den schädigenden Witterungs- und Bearbeitungseinflüssen nicht widerstehen, und es erfolgte eine schnelle Rückbildung der ursprünglichen Porenverhältnisse.

Eine bereits 3 Monate nach Versuchsanlage durchgeführte Porenanalyse konnte infolge der Heterogenität der Stechzylinderproben nicht ausgewertet werden. Sie zeigte jedoch eine noch sehr wohl vorhandene Auflockerung des Oberbodens, ersichtlich an einer gegenüber der Kontrolle starken Zunahme aller selbstdrainierenden Porenbereiche.

### 3. 2. 2. 2. Bodenwiderstand

Eine weitere Möglichkeit, eine Bodenlockerung nachzuweisen, ergibt sich mit der Anwendung der Rammsonde, d. h. mit der Messung des Bodenwiderstandes. In der vorliegenden Arbeit wurde mit der von FREI und KELLER (1957) entwickelten, von BOGUSLAWSKI und LENZ (1958) verbesserten und von HOMRIGHAUSEN (1966) im Weinbau eingeführten Rammsonde gearbeitet. Mit Hilfe dieser Sonde ist es möglich, den Widerstand eines Bodens gegenüber der eindringenden Sondenspitze zu messen und auf einem Registrierstreifen aufzutragen. Voraussetzung für eine erfolgreiche derartige Prüfung ist ein steinfreier nicht zu toniger Boden von mittlerem Wassergehalt. Die Böden beider Versuchsstandorte eigneten sich gut für diese Methode.

Da, wie bereits erwähnt, die Rebasse in 3 unterschiedlich mechanisch beanspruchte Bodenbereiche untergliedert werden kann, war es naheliegend zu versuchen, diese ebenfalls mit der Rammsonde zu lokalisieren und so das Ergebnis der Porenverteilung zu stützen. Aus diesem Grunde wurden die Rammsondenmessungen parallel zu den Stechzylinderentnahmen im gleichen Abstand quer zur Gasse ausgeführt. Während von BOGUSLAWSKI und LENZ (1958) die gewonnenen Registrierstreifen zur Erlangung von

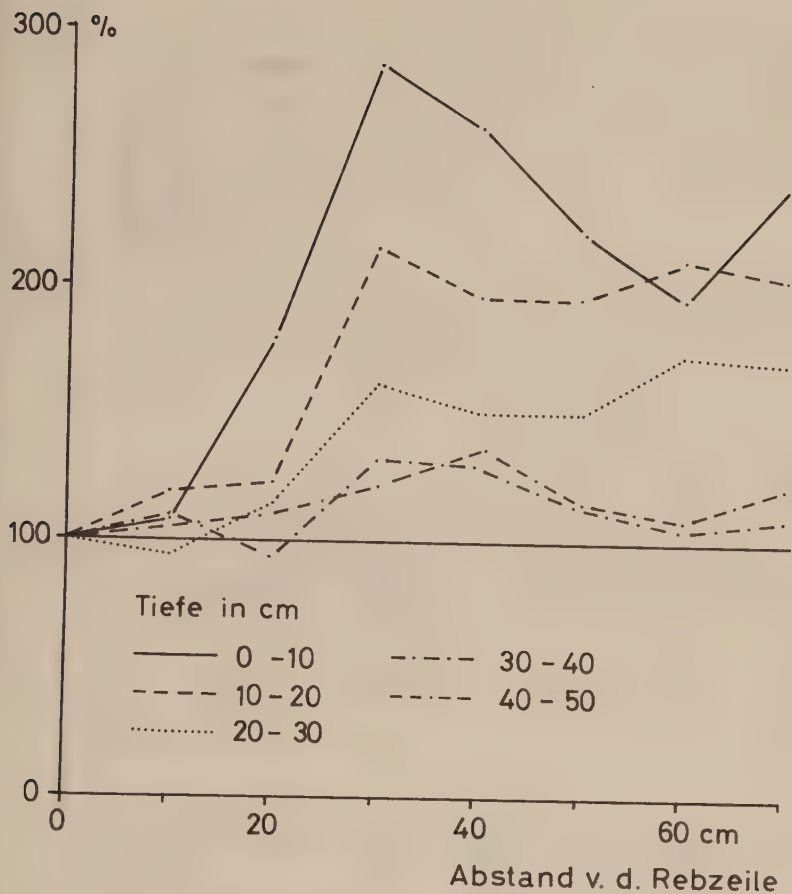


Abbildung 24

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebasse von 0-50 cm Tiefe in der Behandlung A (Oberflächendüngung) in Worms-Abenheim am 2. 4. 1967

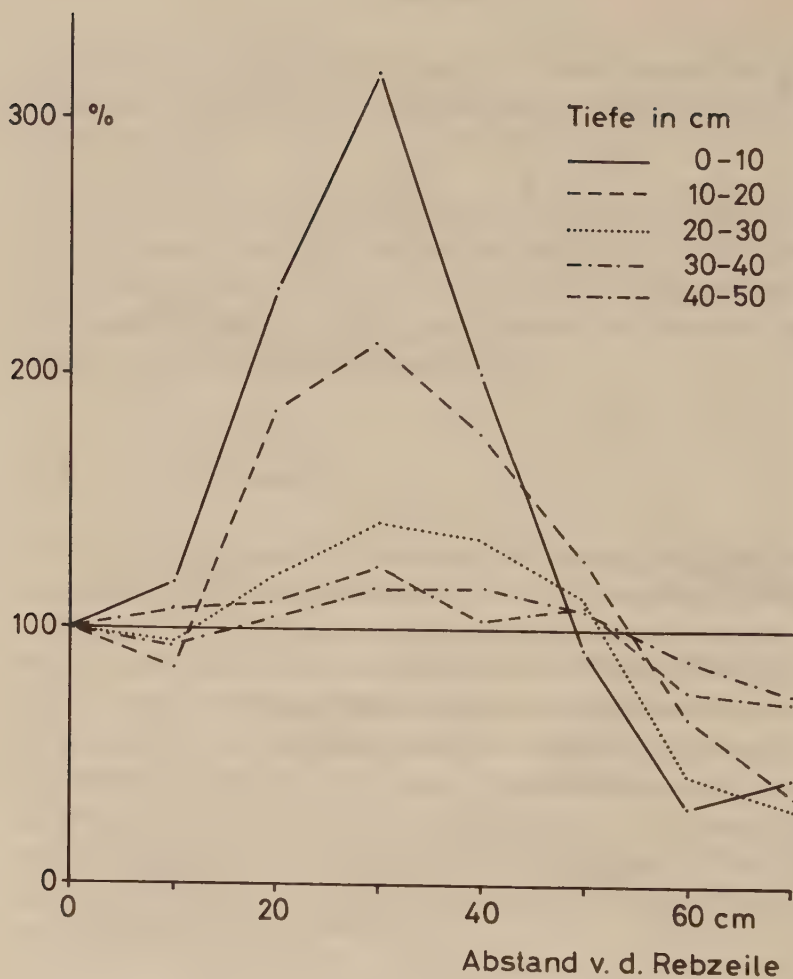


Abbildung 25

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebasse von 0-50 cm  
Tiefe in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) in Worms-  
Abenheim am 2. 4. 1967

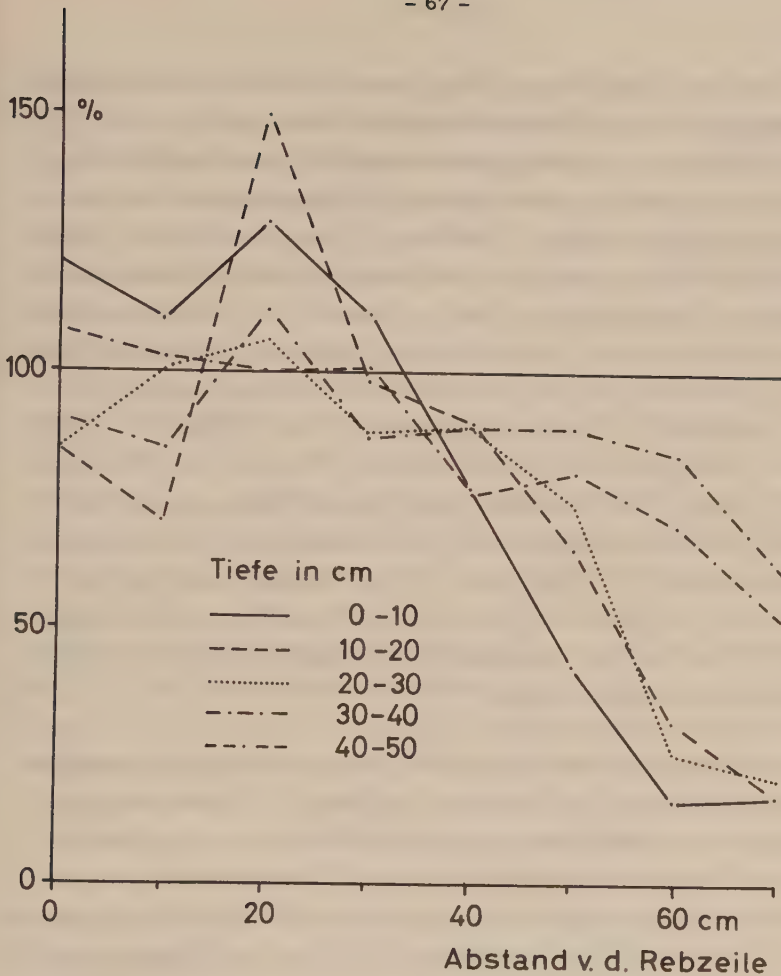


Abbildung 26

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebzeile von 0-50 cm Tiefe in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) bezogen auf die Behandlung A (Oberflächendüngung) in Worms-Abenheim am 2. 4. 1967

Absolutwerten in Widerstandseinheiten auswerten, erhielt HOMRIGHAUSEN (1966) ein anschauliches Bild des Bodenwiderstandes, indem er die Registrierstreifen der zu vergleichenden Bodenbereiche nebeneinander darstellte. Diesen ordnete er Bodenanschliffe und das Gesamtporenvolumen zugehöriger Bodenproben bei. Im Weinbau und anderen langlebigen Reinkulturen erscheint es jedoch zweckdienlicher, eine relative Auswertung vorzunehmen, da es zunächst auf die relativen Unterschiede innerhalb der Bodenhorizonte zwischen den erwähnten Bodenbereichen ankommt (BUDIG 1968). Das Verfahren der relativen Auswertung wurde im methodischen Teil bereits behandelt. Es ermöglicht, die relativen Unterschiede quer zur Reb-gasse für jeden gewählten Bodentiefenbereich in Form von Kurven anschaulich darzustellen. Die Abbildungen 24 und 25 geben diese relativen Unterschiede für die Behandlungen A und C des Versuchsstandortes Worms-Abenheim zum Zeitpunkt 2. 4. 1967 wieder. Bei der Messung wurde noch ein Abstand quer zur Gasse von 10 cm gewählt und dieser später auf 15 cm vergrößert, da auch bei dem erweiterten Abstand die Bodenunterschiede noch deutlich gemacht werden konnten.

Wie das Kurvenbild der Abbildung 24 zeigt, setzt der Boden der Behandlung A der Rammsonde unter den Reben den geringsten Widerstand entgegen. Im Bereich der Schlepperspur ist der Bodenwiderstand stark erhöht, um zur Gassenmitte hin wieder etwas nachzulassen. Des weiteren nimmt der Bodenwiderstand im Profil von oben nach unten ab. Die Abbildung 25 vermittelt ein von A auffallend abweichendes Bild der relativen Bodenwiderstände in der Behandlung C. Auch hier sind alle Widerstandswerte unter den Reben = 100 gesetzt. Im Schlepperspurbereich erfolgt wieder ein starker Anstieg des Bodenwiderstandes, welcher jedoch in Gassenmitte, d. h. im Lockerungsbereich des Depotstreifens, in allen Tiefen absinkt und die 100 %-Linie unterschreitet. Der Bodenwiderstand hat sich im Depotstreifen vermindert und ist nun geringer als unter den Reben.

Ein relativer Vergleich beider Bodenbehandlungsvarianten (Abb. 26) wird ermöglicht, indem jeder absolute Bodenwiderstandswert der Behandlung A = 100 gesetzt und der entsprechende Wert der Behandlung C darauf bezogen wird. Die Abbildung läßt erkennen, daß die Lockerungsmaßnahme im Bereich der Schlepperspur 1/2 Jahr nach erfolgter Versuchsanlage noch eine gewisse Erhöhung des Bodenwiderstandes gegenüber der Kontrolle verursacht hat. Im Bereich des gelockerten Depotstreifens ist der Bodenwiderstand hingegen wesentlich verringert.

Weitere Rammsondenmessungen wurden am 21. 11. 1967 und am 22. 4. 1968 vorgenommen. Sie sind in den Abbildungen 27, 28 und 29 bzw. 30, 31 und 32 wiedergegeben. An beiden Terminen wird gegenüber dem 2. 4. 1967 eine relative Zunahme des Bodenwiderstandes im Depotstreifen im Vergleich mit dem Bereich unter den Reben erkennbar (Abb. 28 und 31). Die Auswirkung der Lockerungsmaßnahme auf den Bodenwiderstand nimmt also langsam ab. Die Abbildungen 29 und 32 zeigen aber auch, daß die Gassenmitte, d. h. der Depotstreifen der Behandlung C, immer einen geringeren Bodenwiderstand aufweist als der gleiche Bodenbereich der Behandlung A. In der Tabelle 12 sind die zugehörigen Bodenfeuchtwerte beider Behandlungen zu den 3 Sondierungsterminen zusammengefaßt. Da sich die Werte der Behandlungen A und C nur unwesentlich unterscheiden, ist ein direkter Vergleich möglich und die erhaltenen Unterschiede zwischen den Behandlungen können auf veränderte Widerstandsverhältnisse und nicht auf verschiedene Bodenfeuchten zurückgeführt werden.

Tabelle 12

Bodenfeuchtigkeit (in %  $H_2O$  Boden-Tr. M.) am Versuchsstandort Worms-Abenheim zu den Terminen der Rammsondenmessungen

| Termin       | Behandlung | Tiefen (in cm) |       |       |       |       |
|--------------|------------|----------------|-------|-------|-------|-------|
|              |            | 0-10           | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 |
| 2. 4. 1967   | A          | 18,5           | 17,7  | 17,8  | 18,6  | 18,1  |
|              | C          | 19,2           | 18,3  | 18,3  | 18,2  | 18,3  |
| 21. 11. 1967 | A          | 24,3           | 20,5  | 20,7  | 19,8  | 19,0  |
|              | C          | 24,6           | 21,1  | 20,6  | 20,3  | 19,1  |
| 22. 4. 1968  | A          | 14,2           | 17,2  | 17,0  | 16,4  | 16,8  |
|              | C          | 14,1           | 17,1  | 16,9  | 15,9  | 17,1  |

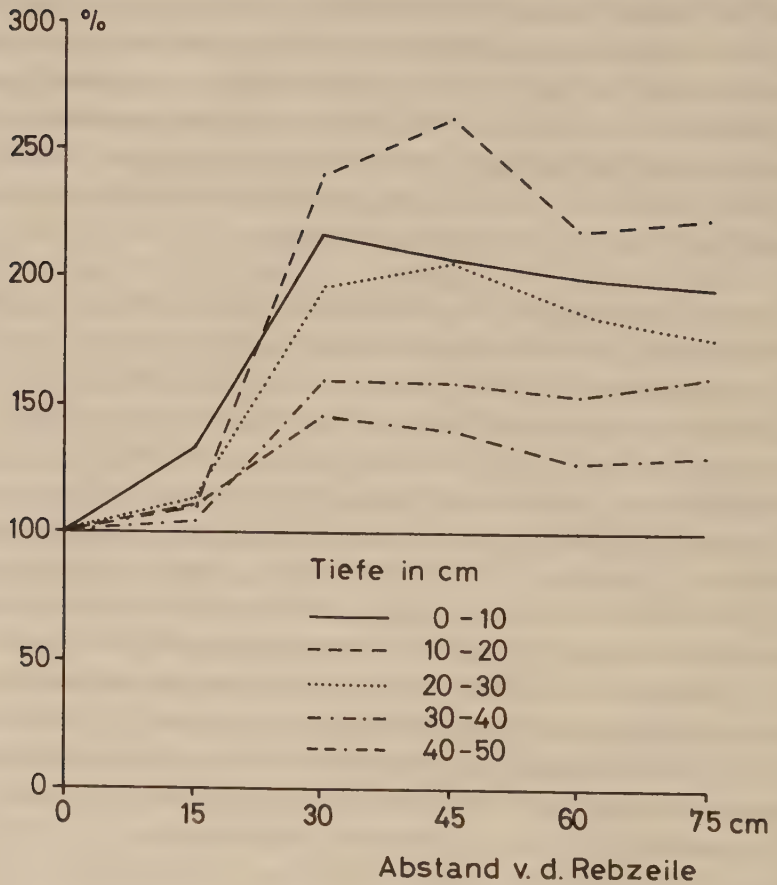


Abbildung 27

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebzeile von 0 - 50 cm Tiefe in der Behandlung A (Oberflächendüngung) in Worms-Abenheim am 21. II. 1967

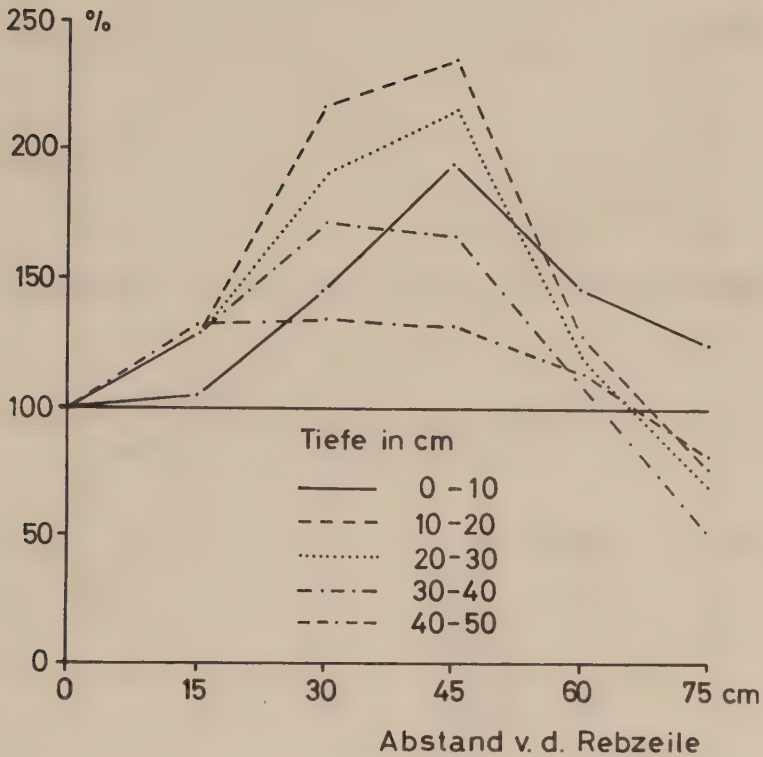


Abbildung 28

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebzeile von 0-50 cm  
Tiefe in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) in Worms-  
Abenheim am 21. II. 1967

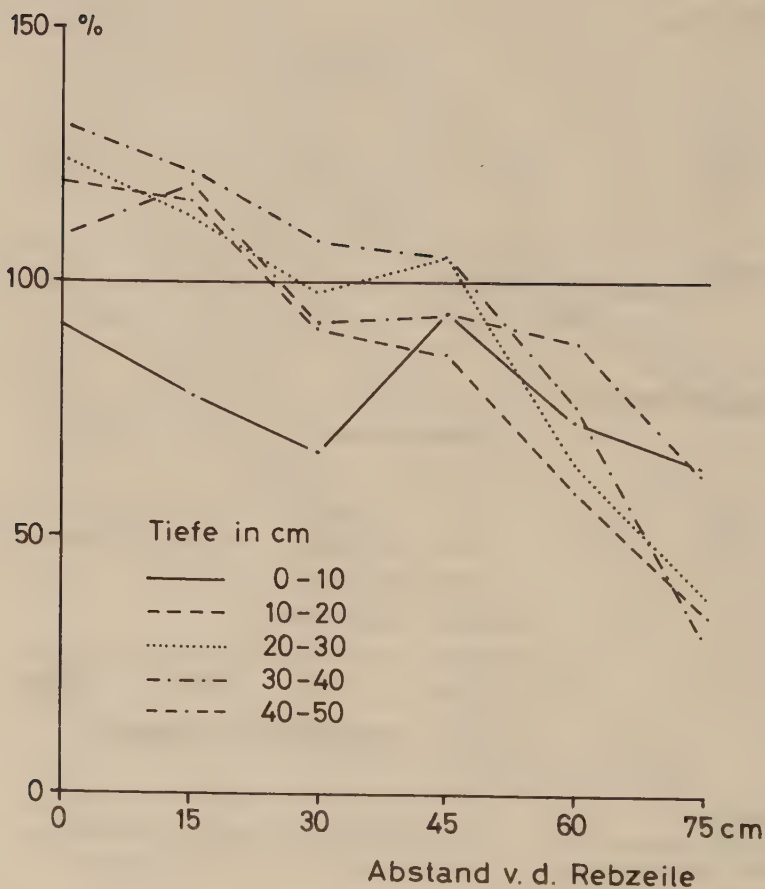


Abbildung 29

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebzeile von 0-50 cm Tiefe in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) bezogen auf die Behandlung A (Oberflächendüngung) in Worms-Abenheim am 21. II. 1967

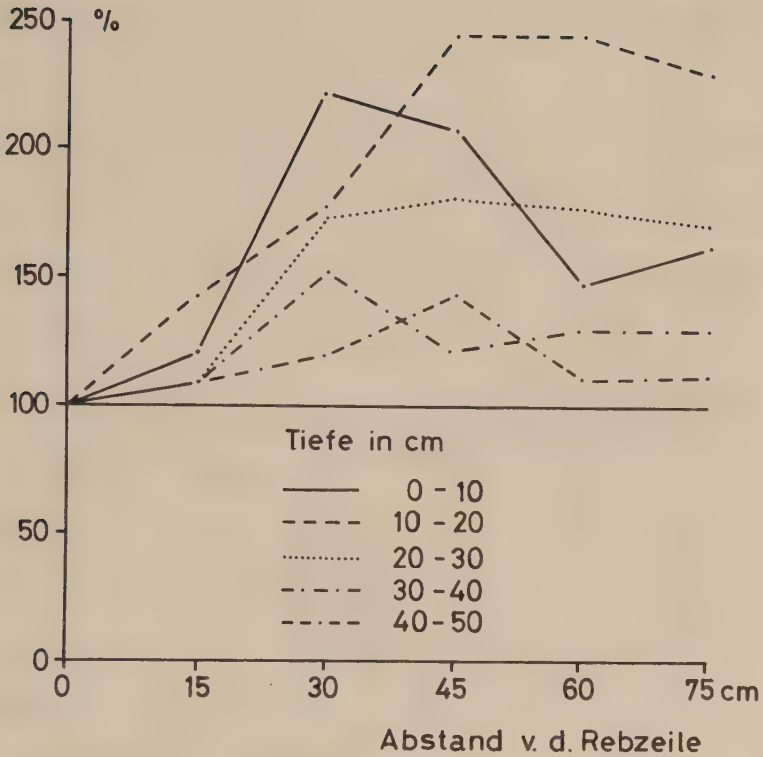


Abbildung 30

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebasse von 0-50 cm Tiefe in der Behandlung A (Oberflächendüngung) in Worms-Abenheim am 22. 4. 1968

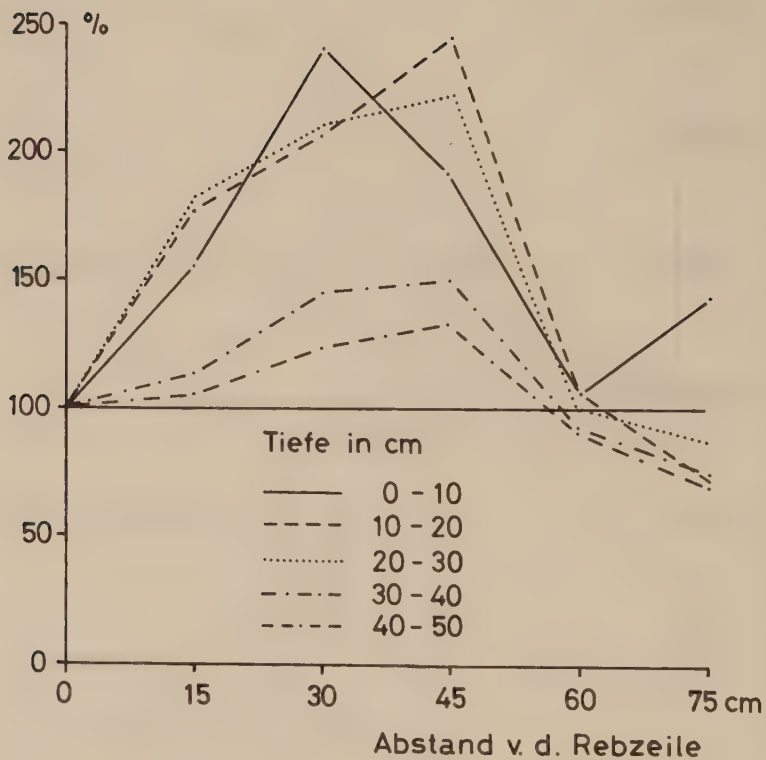


Abbildung 31

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebasse von 0-50 cm Tiefe in der Behandlung C(Tiefendüngung, Depotstreifen) in Worms-Abenheim am 22. 4. 1968

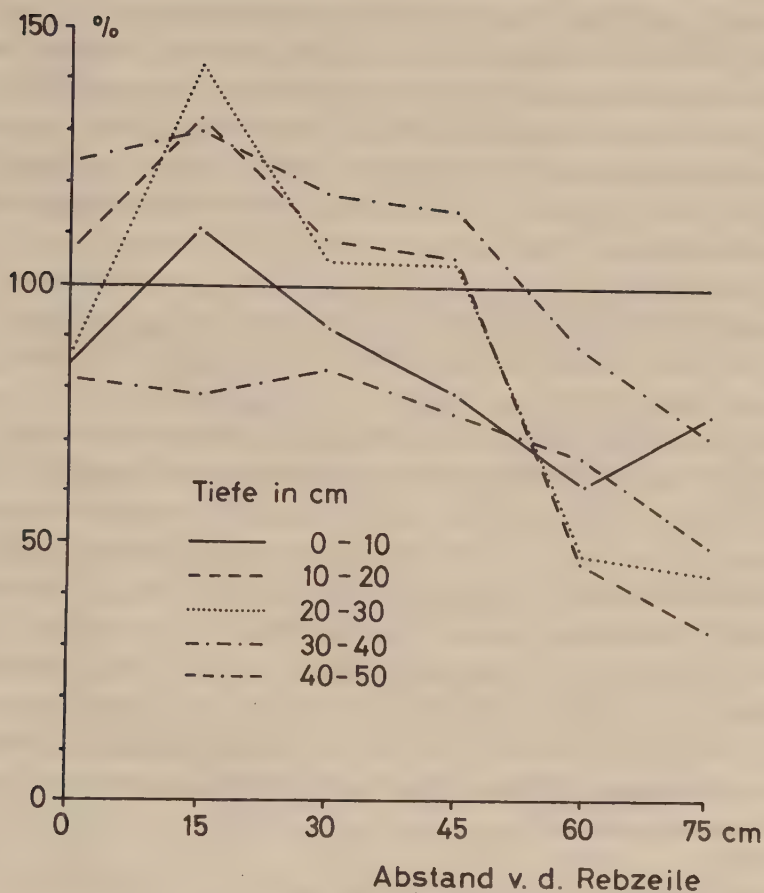


Abbildung 32

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebasse von 0-50 cm Tiefe in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) bezogen auf die Behandlung A (Oberflächendüngung) in Worms-Abenheim am 22. 4. 1968

Wie bereits ausführlich im methodischen Teil (3. 2. 1. 3. ) beschrieben, erscheint es möglich, die Ergebnisse der Porenverteilungsanalyse mit denjenigen der Rammsondenmessung zu koppeln. Dies geschieht, indem man den relativen Bodenwiderstand durch das entsprechende relative Substanzvolumen eines bestimmten Meßpunktes teilt und so einen Faktor erhält. Dieser Faktor erlaubt dann eine relative Aussage über die Stabilität des Bodengefüges. Hat er die Größe 1, so entspricht die Stabilität des Bodengefüges an diesem Meßpunkt derjenigen unter den Reben, ist der Faktor  $\leq 1$ , ist die Stabilität geringer, ist er  $> 1$  ist sie höher. In den folgenden Abbildungen wird eine solche Kombination von Bodenwiderstand und Substanzvolumen für die Bodentiefen 10-20 und 30-40 vorgenommen. In der Abbildung 33 werden die relativen Unterschiede innerhalb der Behandlung A zum Termin 21. 11. 1967 deutlich. Es zeigt sich, daß die Stabilität des Bodengefüges im Bereich der Schlepperspur und in Gassenmitte höher ist als unter den Reben. Abbildung 34 vermittelt die analogen Unterschiede für Behandlung C. Auch hier ist die Stabilität des Bodengefüges im Bereich der Schlepperspur erhöht, im Depotstreifen aber vermindert. Der sich in Abbildung 35 anschließende Vergleich zwischen Behandlung A und C zeigt in der Schlepperspur eine gleiche, in Gassenmitte eine verringerte Gefügestabilität von C auf. Unter den Reben unterscheidet sich die Behandlung C von A durch eine höhere Stabilität. Diese ist jedoch nicht versuchsbedingt. Die Untersuchungen des Termins 22. 4. 1968 (Abb. 36, 37, 38) führen zu dem gleichen Ergebnis.

Ein analoges Resultat wie in Worms-Abenheim lieferten die Rammsondenmessungen (Abb. 39, 40 und 41) in Essingen am 25. 7. 1967 und am 15. 5. 1968 (Abb. 42, 43 und 44). Die zugehörigen Bodenfeuchtwerte sind in Tabelle 13 zusammengefaßt. Zum letztgenannten Termin weist die Bodenbehandlungsvariante A einen unerklärlich geringen Bodenwiderstand in Gassenmitte auf, während die Werte von C den Erwartungen entsprechen. In den Abbildungen 45, 46 und 47 werden für den Termin 15. 5. 1968 Boden-

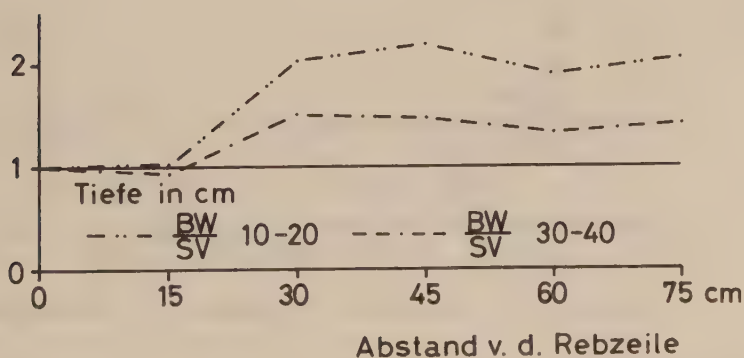
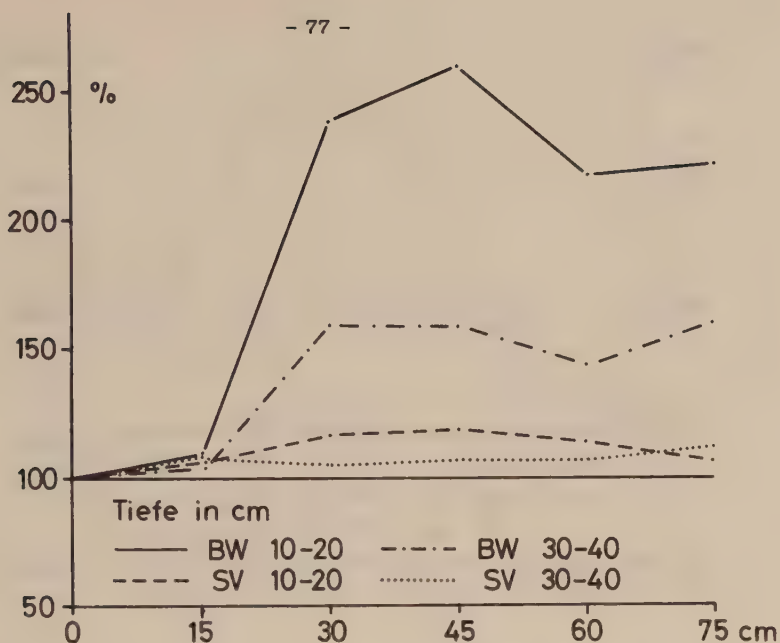
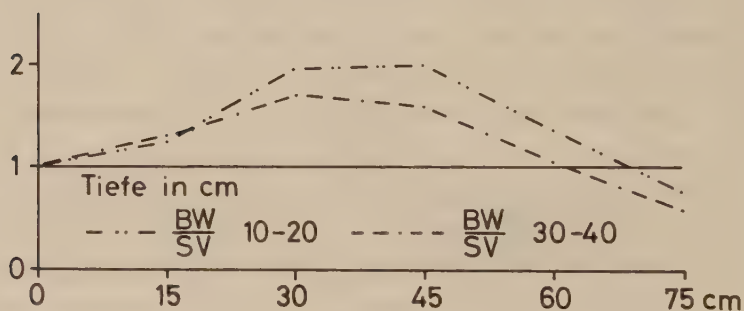
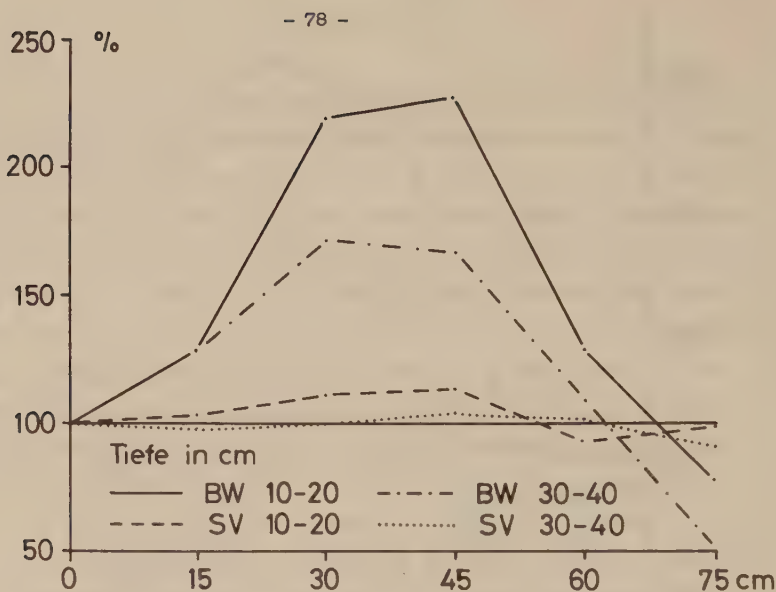


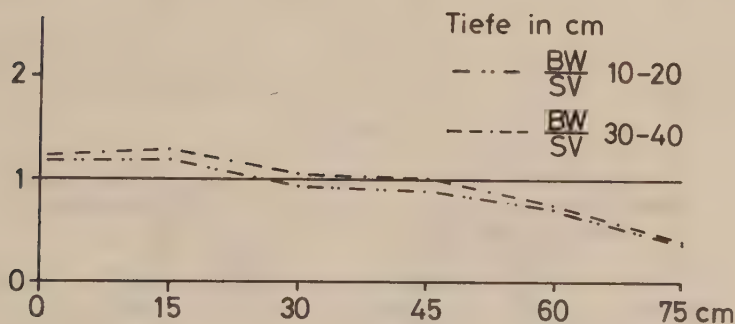
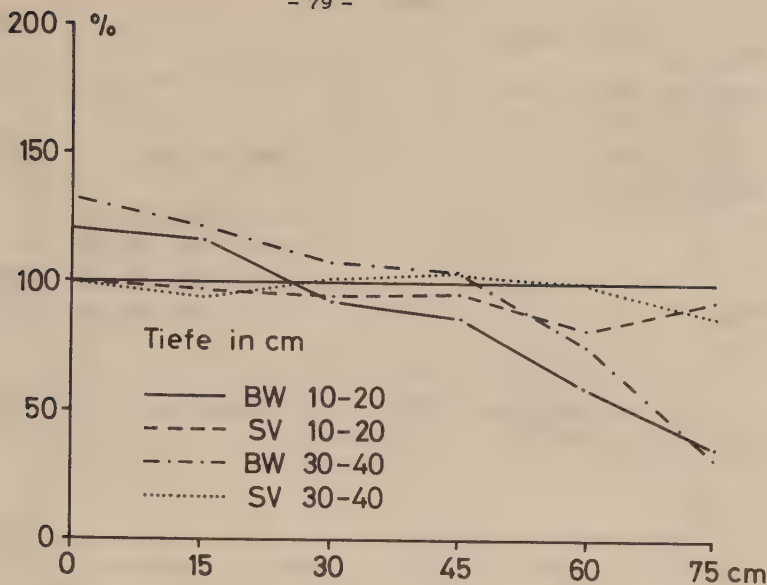
Abbildung 33  
 Relativer Bodenwiderstand, relatives Substanzvolumen (in %) sowie der Faktor BW:SV quer zur Rebzeile für die Tiefenbereiche 10 - 20 und 30 - 40 cm in der Behandlung A (Oberflächendüngung) in Worms-Abenheim am 21. 11. 1967



Abstand v. d. Rebzeile

Abbildung 34

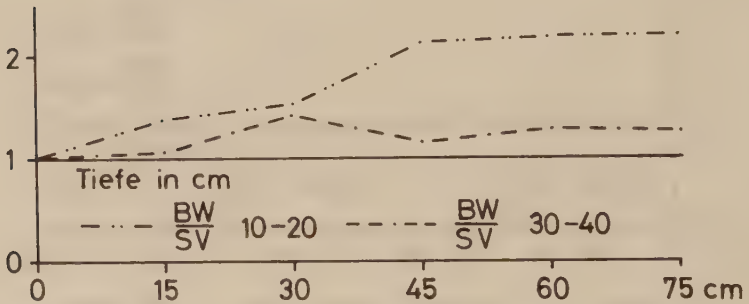
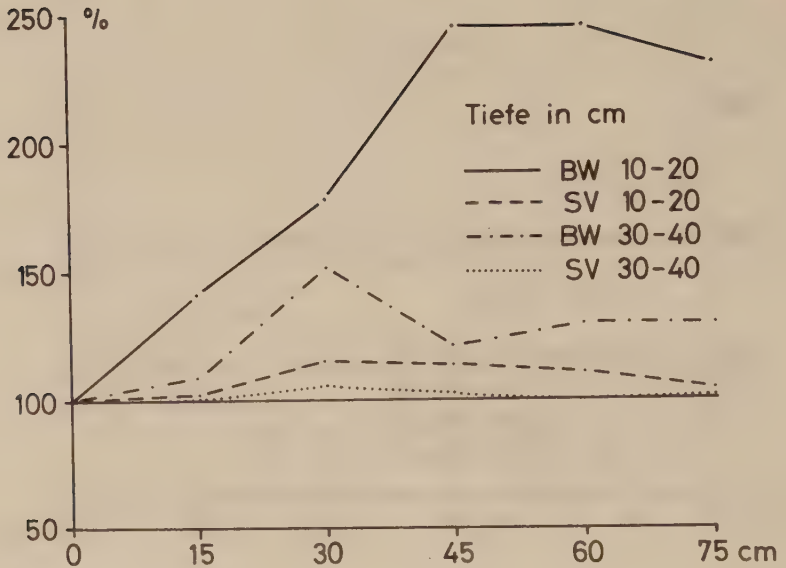
Relativer Bodenwiderstand, relatives Substanzvolumen (in %) sowie der Faktor  $\frac{BW}{SV}$  quer zur Rebzeile für die Tiefenbereiche 10 - 20 und 30 - 40 cm in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) in Worms-Abenheim am 21. 11. 1967



Abstand v. d. Rebzeile

Abbildung 35

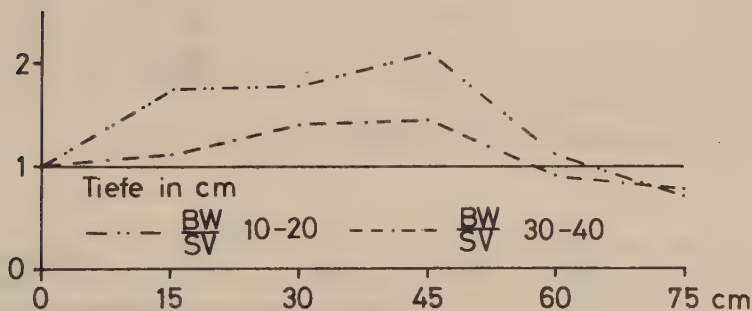
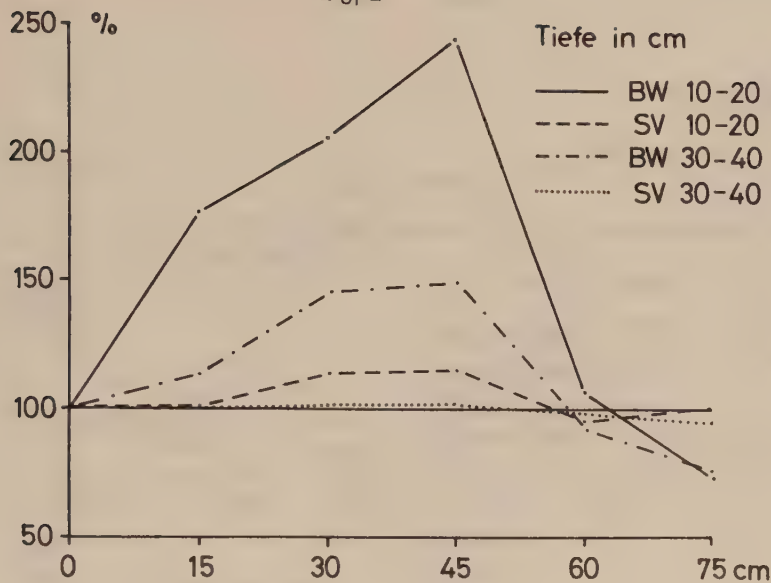
Relativer Bodenwiderstand, relatives Substanzvolumen (in %) sowie der Faktor BW:SV quer zur Rebasse für die Tiefenbereiche 10 - 20 und 30 - 40 cm in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) bezogen auf die Behandlung A (Oberflächendüngung) in Worms-Abenheim am 21. 11. 1967



Abstand v. d. Rebzeile

Abbildung 36

Relativer Bodenwiderstand, relatives Substanzvolumen (in %) sowie der Faktor BW:SV quer zur Rebzeile für die Tiefenbereiche 10 - 20 und 30 - 40 cm in der Behandlung A (Oberflächendüngung) in Worms-Abenheim am 22. 4. 1968



Abstand v. d. Rebzeile

Abbildung 37

Relativer Bodenwiderstand, relatives Substanzvolumen (in %) sowie der Faktor BW:SV quer zur Rebzeile für die Tiefenbereiche 10 - 20 und 30 - 40 cm in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) in Worms-Abenheim am 22. 4. 1968

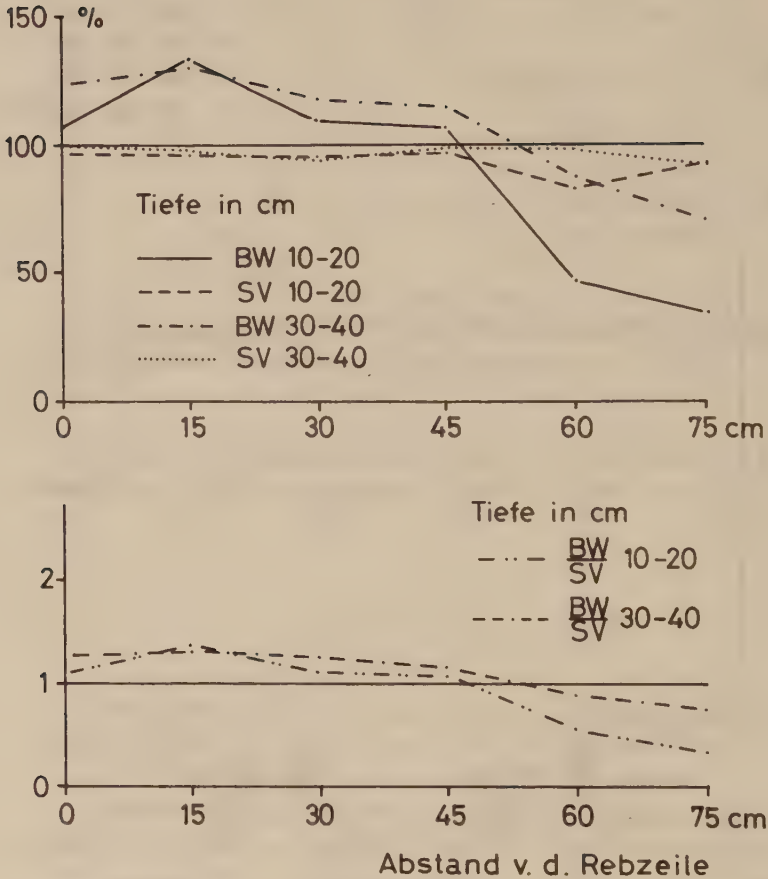


Abbildung 38

Relativer Bodenwiderstand, relatives Substanzvolumen (in %) sowie der Faktor BW:SV quer zur Rebzeile für die Tiefenbereiche 10 - 20 und 30 - 40 cm in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) bezogen auf die Behandlung A (Oberflächendüngung) in Worms-Abenheim am 22. 4. 1968

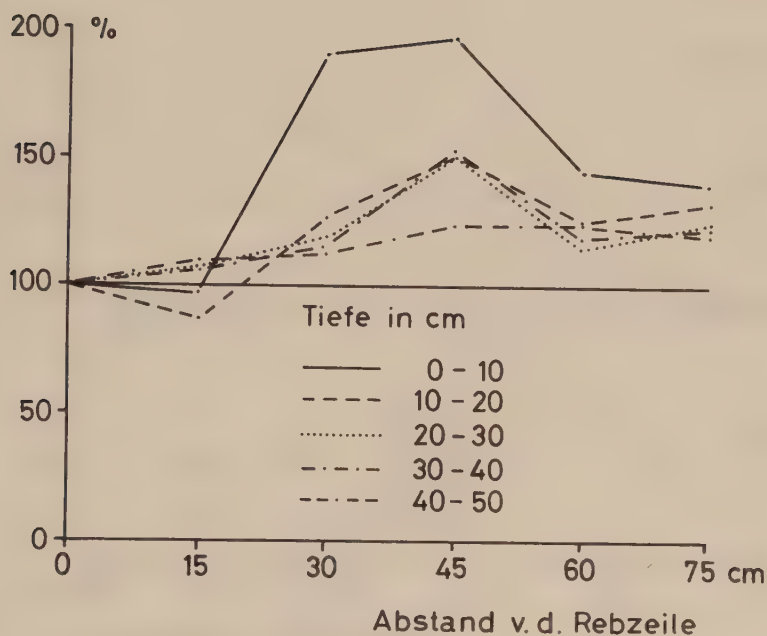


Abbildung 39

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebzeile von 0 - 50 cm  
Tiefe in der Behandlung A (Oberflächendüngung) in Essingen am 25. 7. 1967

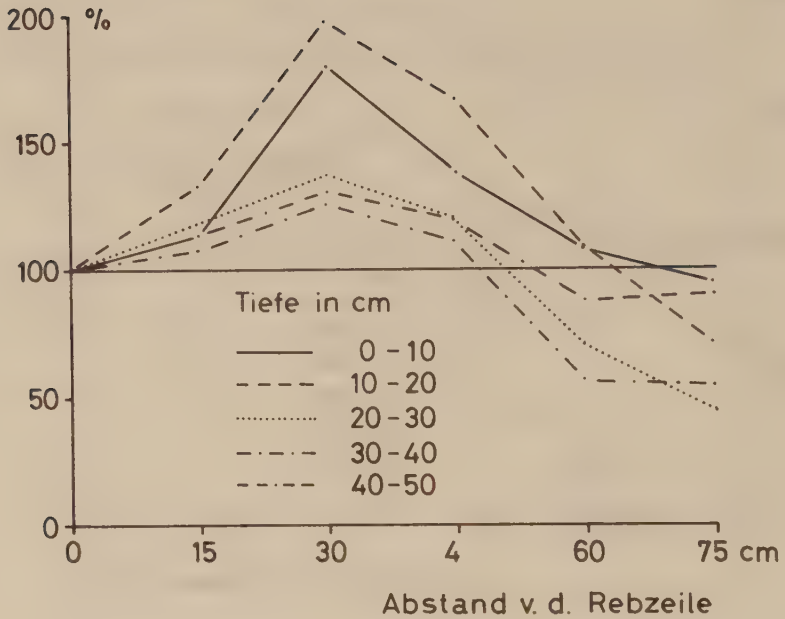


Abbildung 40

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebzeile von 0 - 50 cm Tiefe in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) in Essingen am 25. 7. 1967

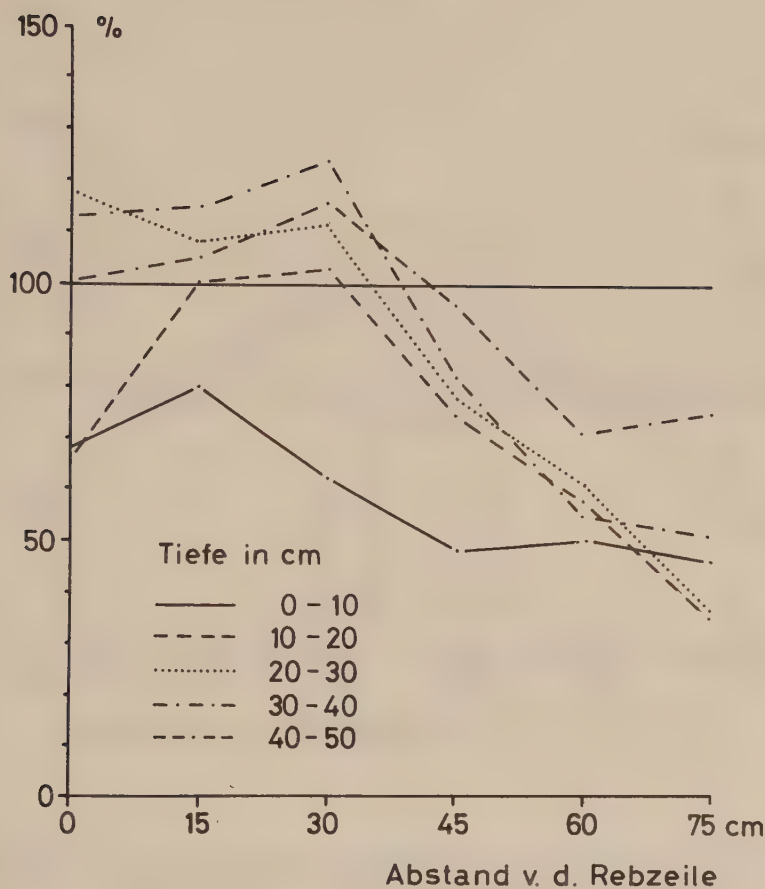
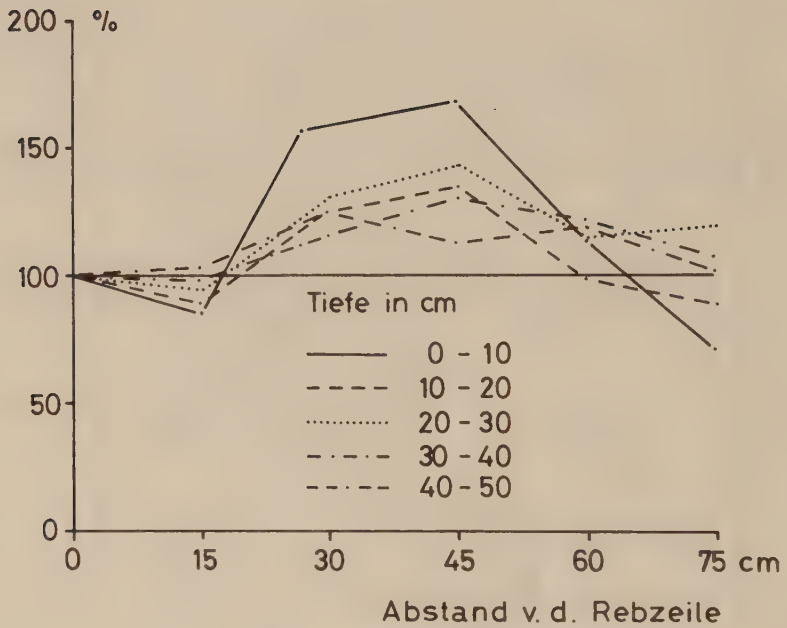


Abbildung 41

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebzeile von 0 - 50 cm Tiefe in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) bezogen auf die Behandlung A (Oberflächendüngung) in Essingen am 25. 7. 1967



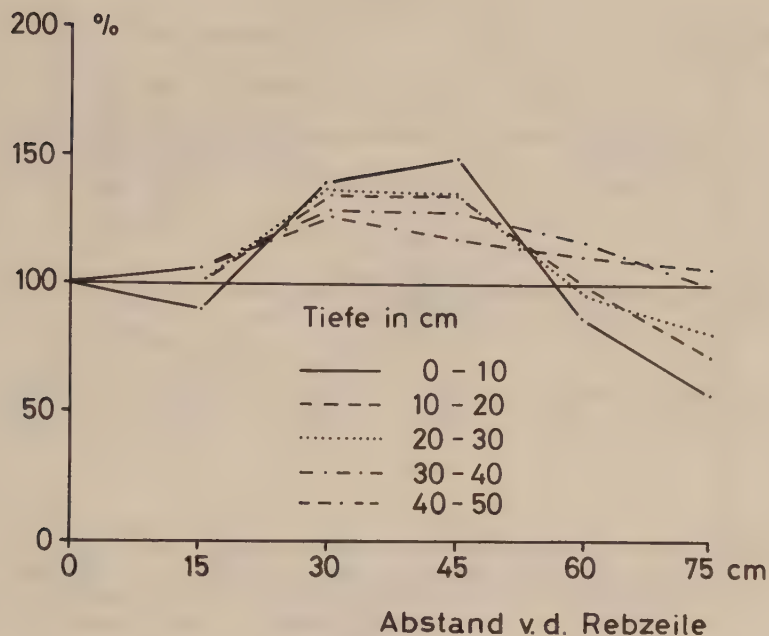


Abbildung 43

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebasse von 0 - 50 cm Tiefe in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) in Essingen am 15. 5. 1968

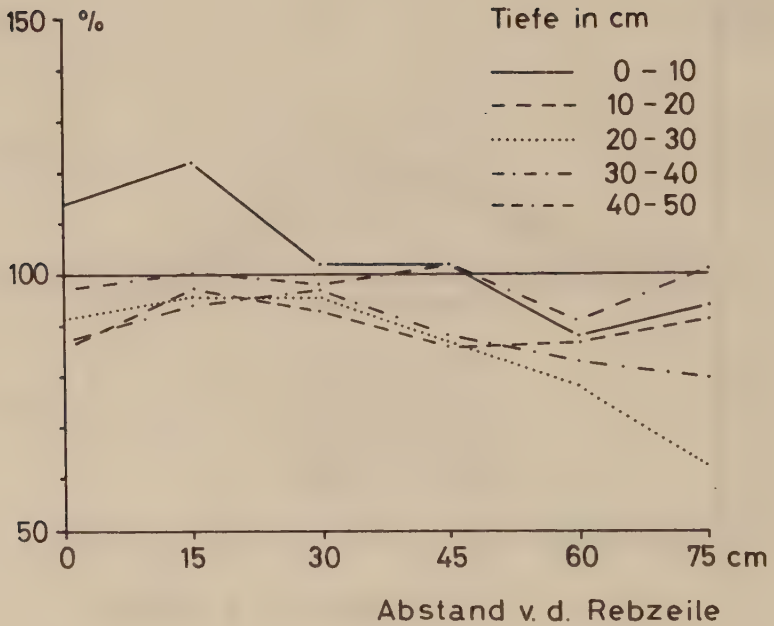


Abbildung 44

Relativer Bodenwiderstand (in %) quer zur Rebasse von 0 - 50 cm Tiefe in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) bezogen auf die Behandlung A (Oberflächendüngung) in Essingen am 15. 5. 1968

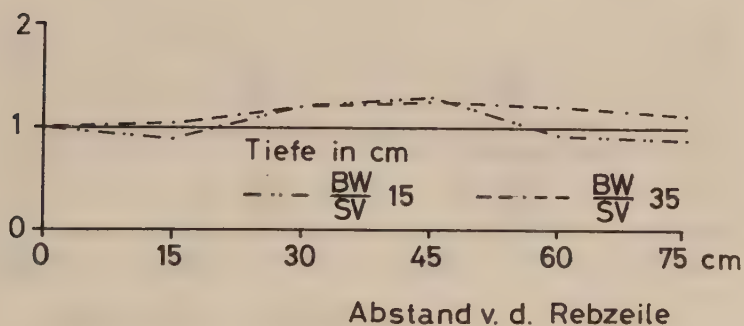
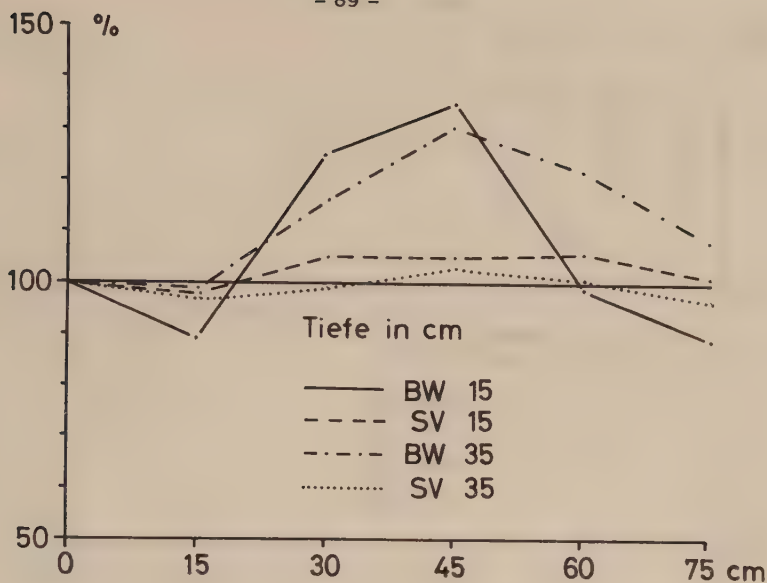


Abbildung 45

Relativer Bodenwiderstand, relatives Substanzvolumen (in %) sowie der Faktor BW:SV quer zur Rebzeile für die Tiefenbereiche 10 - 20 und 30 - 40 cm in der Behandlung A (Oberflächendüngung) in Essingen am 15. 5. 1968

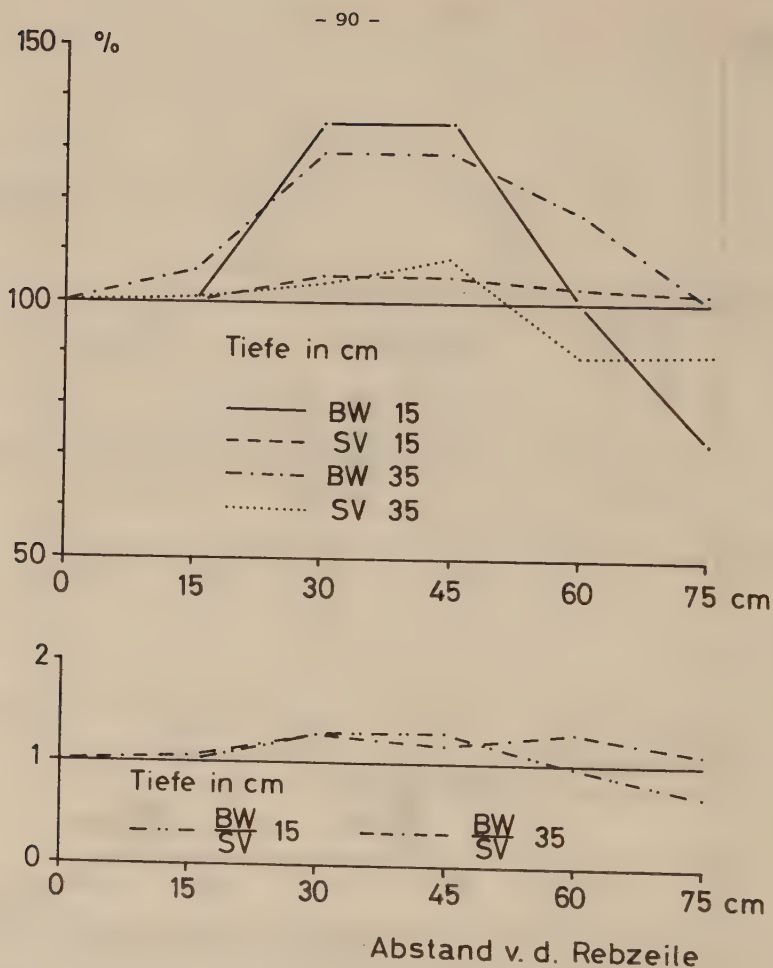


Abbildung 46

Relativer Bodenwiderstand, relatives Substanzvolumen (in %) sowie der Faktor BW:SV quer zur Rebzeile für die Tiefenbereiche 10 - 20 und 30 - 40 cm in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) in Essingen am 15. 5. 1968

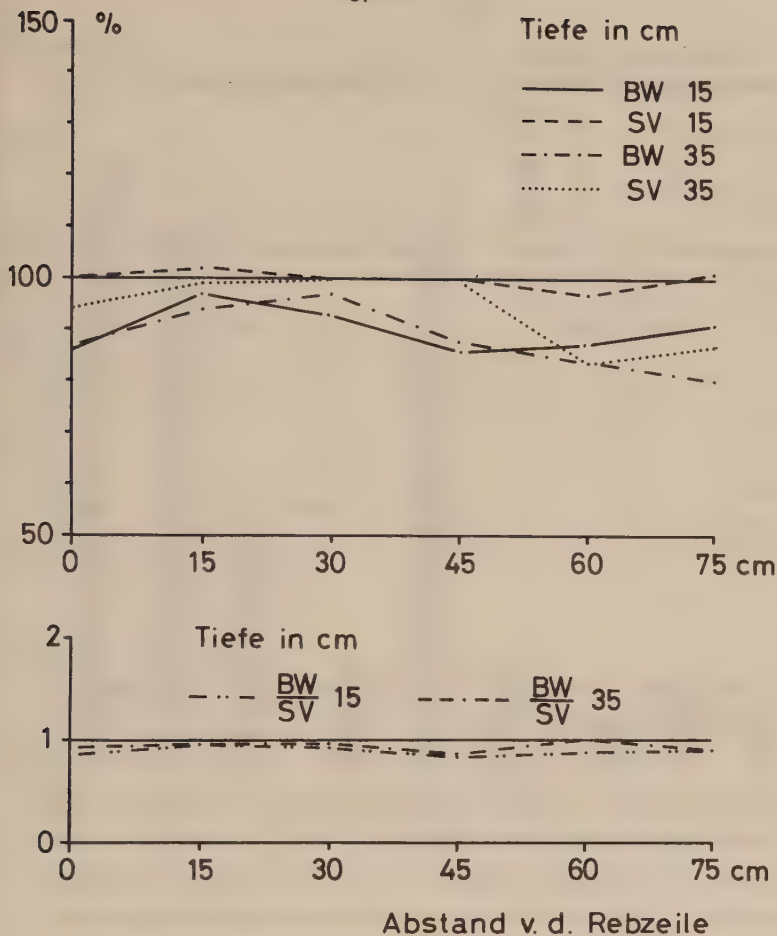


Abbildung 47

Relativer Bodenwiderstand, relatives Substanzvolumen (in %) sowie der Faktor BW:SV quer zur Rebasse für die Tiefenbereiche 10 - 20 und 30 - 40 cm in der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) bezogen auf die Behandlung A (Oberflächendüngung) in Essingen am 15. 5. 1968

widerstand und Substanzvolumen in Verbindung gebracht und der Faktor

$\frac{BW}{SV}$  errechnet.

Tabelle 13

Bodenfeuchtigkeit (in % Boden-Tr. M.) am Versuchsstandort Essingen zu den Terminen der Rammsondenmessungen

| Termin      | Behandlung | Tiefen (in cm) |       |       |       |       |
|-------------|------------|----------------|-------|-------|-------|-------|
|             |            | 0-10           | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 |
| 25. 7. 1967 | A          | 18,0           | 20,4  | 19,8  | 19,8  | 18,8  |
|             | C          | 17,6           | 20,1  | 20,3  | 20,0  | 18,5  |
| 15. 5. 1968 | A          | 17,7           | 19,5  | 19,8  | 21,0  | 20,5  |
|             | C          | 17,9           | 19,8  | 20,0  | 21,1  | 20,9  |

### 2. 2. 3. Einfluß der Tiefendüngung auf die Kalium-Verteilung im Bodenprofil der Rebgarre

Die Wirkung der Kalium-Düngung auf den Laktat-Kalium-Gehalt des Bodens wurde in Worms-Abenheim erstmals am 21. 11. 1967, ein Jahr nach Versuchsanlage, untersucht. Der Depotstreifen war, infolge noch andauernder Sackungen, zu erkennen und so konnten die Proben aus diesem entnommen werden. Zum Vergleich erfolgten weitere Probenentnahmen unter den Reben der Behandlung C und in Gassenmitte der Behandlung A. Die Ergebnisse sind für die 3 Kalium-Düngungsstufen und 3 Tiefen in der Abbildung 48 wiedergegeben. Sie zeigen deutlich, daß die Oberflächendüngung der Variante A zwar den Kalium-Gehalt des Bodens von 0-20 cm erhöhen konnte, die tieferen Bereiche jedoch unbeeinflusst ließ. In der Behandlung C wurde unter den Reben (CR) erwartungsgemäß eine Veränderung des Kalium-Gehaltes nicht festgestellt, da dieser Bereich bei Anlage des Depotstreifens

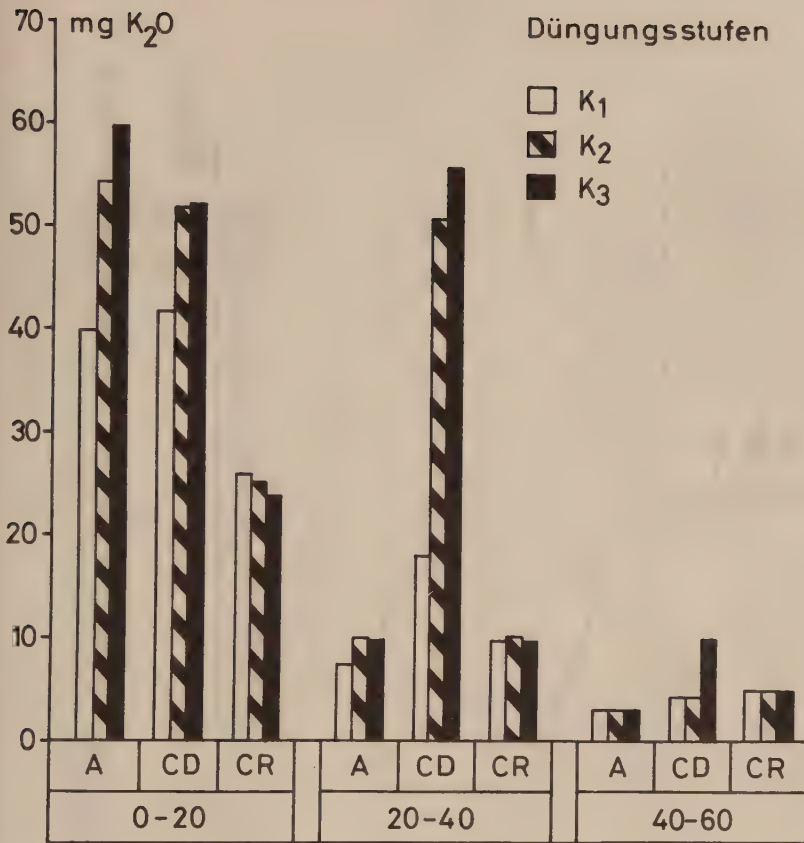


Abbildung 48

Vertikale Kalium-Anreicherung im Boden (in mg  $K_2O$ /100 g Boden) in Abhängigkeit von der Kalium-Düngung (in mg  $K_2O$ /100 g Boden) und der Bodenbehandlung (A = Oberflächendüngung; C = Tiefendüngung, CD = Depotstreifen, CR = unter den Reben) im Versuch Worms-Abenheim am 21. II. 1967

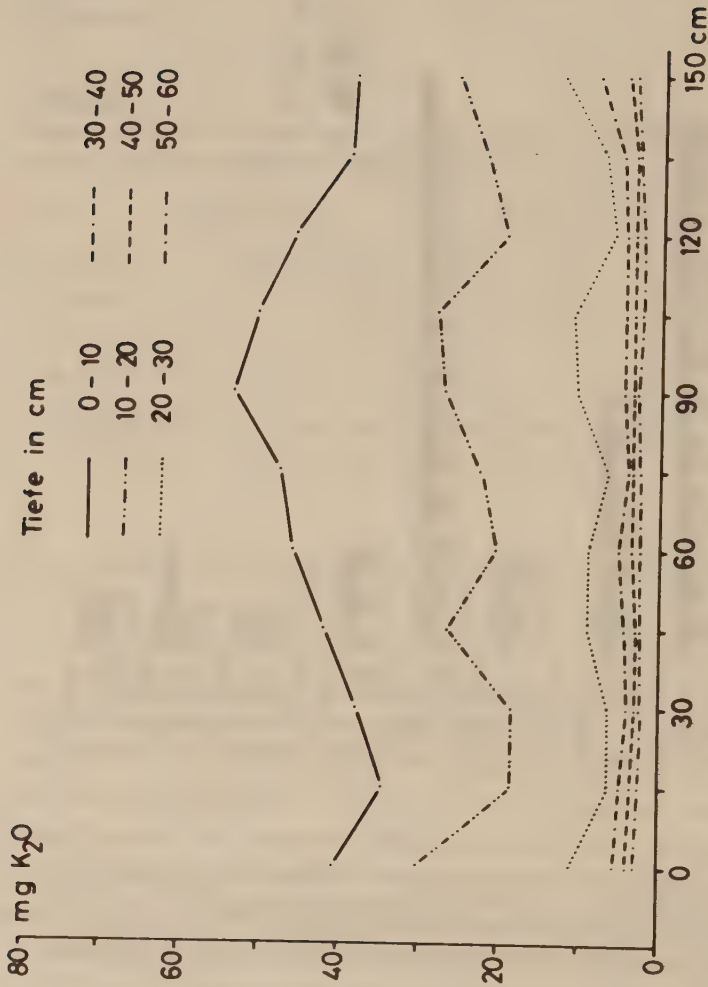


Abbildung 49  
Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in mg  $K_2O/100$  g Boden) in der Rebasse der Behandlung A (Oberflächendüngung) und Kalium-Düngungsstufe  $K_1$  in Worms-Abenheim am 8. 10. 1968

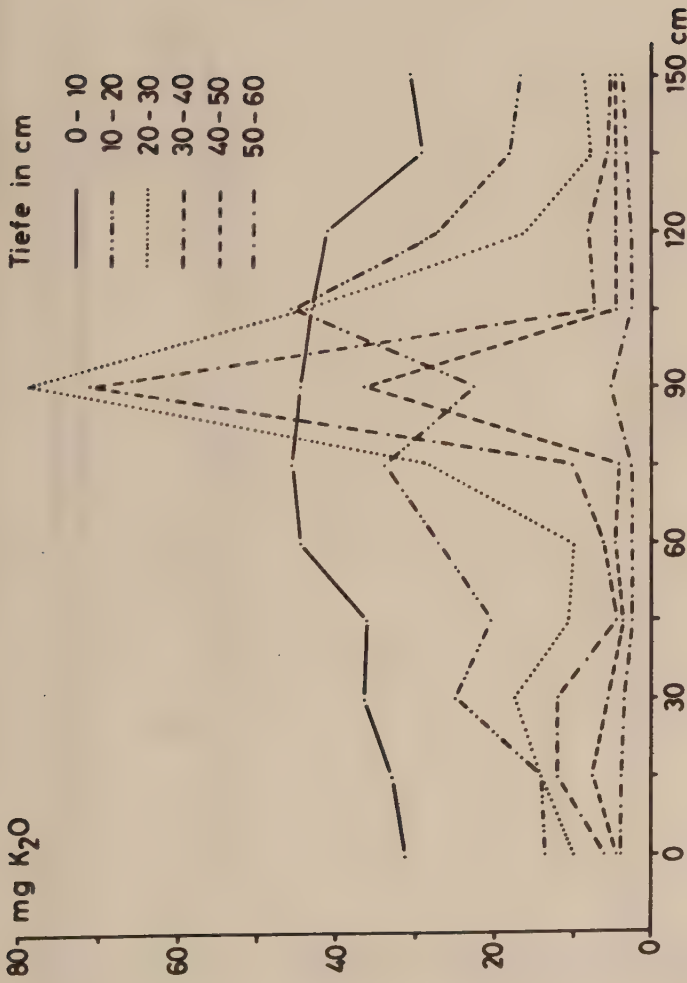


Abbildung 50  
Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) in der Rebasse der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) und Kalium-Düngungsstufe K<sub>1</sub> in Worms-Abenheim am 8. 10. 1968

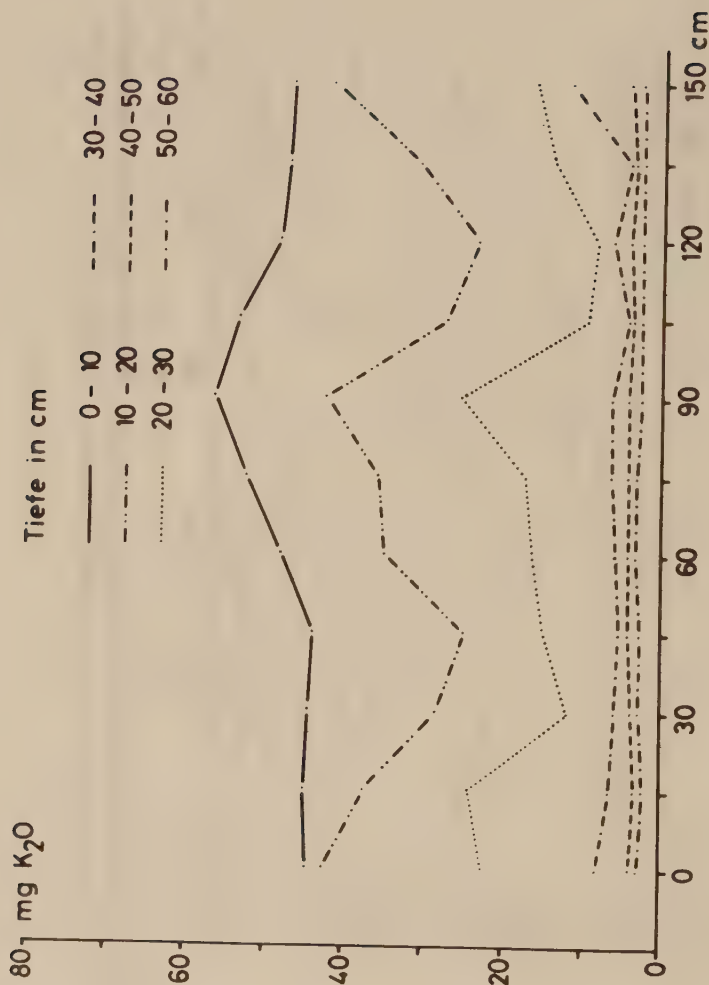


Abbildung 51

Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in  $\text{mg K}_2\text{O}/100\text{ g}$  Boden) in der Rebmasse der Behandlung A (Oberflächendüngung) und Kalium-Düngungsstufe  $\text{K}_2$  in Worms-Abenheim am 8. 10. 1968

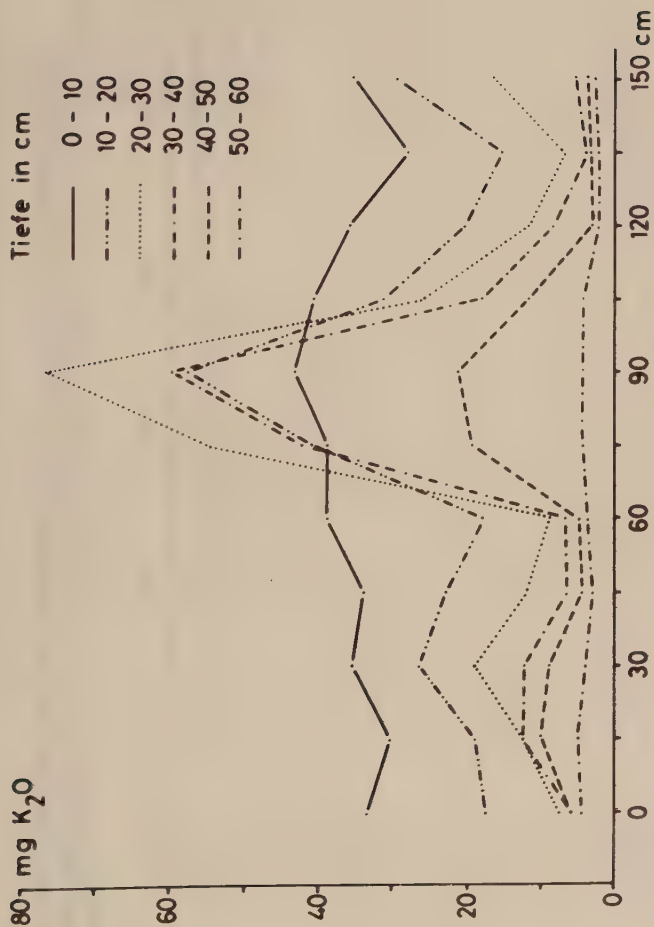


Abbildung 52  
Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in mg  $K_2O/100$  g Boden) in der Rebgrasse der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) und Kalium-Düngungsstufe  $K_2$  in Worms-Abenheim am 8. 10. 1968

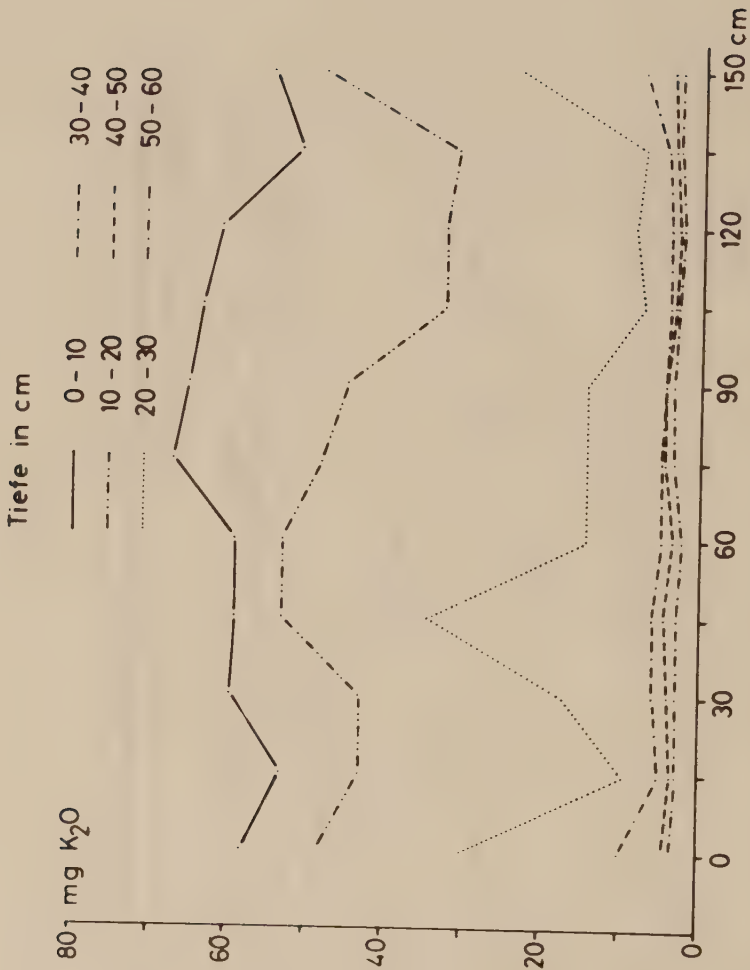


Abbildung 53  
Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) in der Rebmasse der Behandlung A (Oberflächendüngung) und Kalium-Düngungsstufe K<sub>3</sub> in Worms-Abenheim am 8. 10. 1968

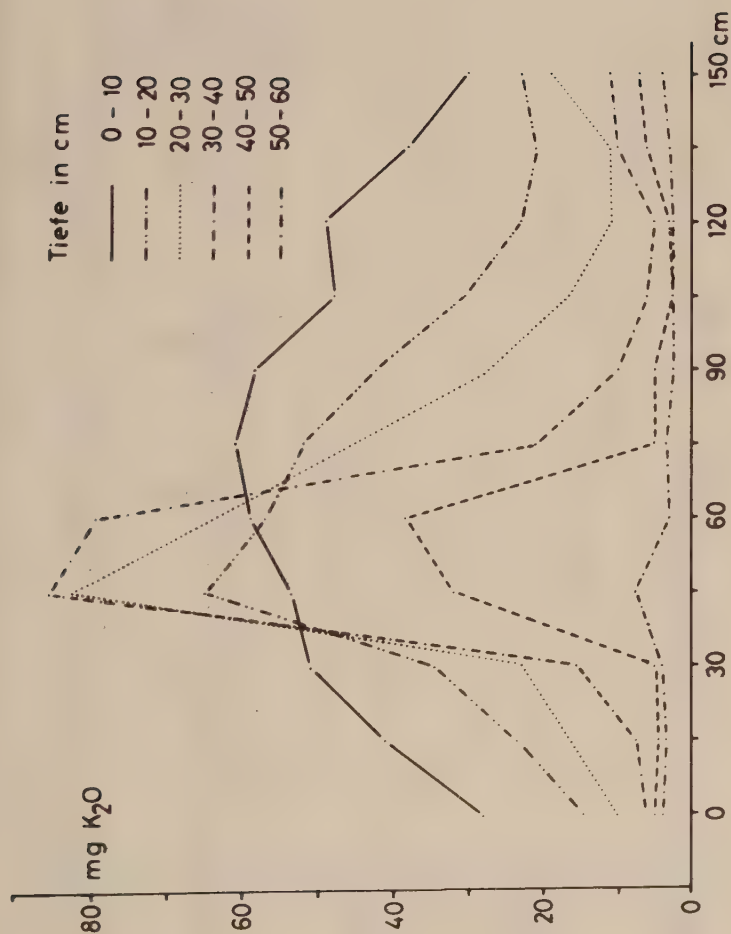


Abbildung 54  
Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) in der Rebgrasse der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) und Kalium-Düngungsstufe K<sub>3</sub> in Worms-Abenheim am 8. 10. 1968

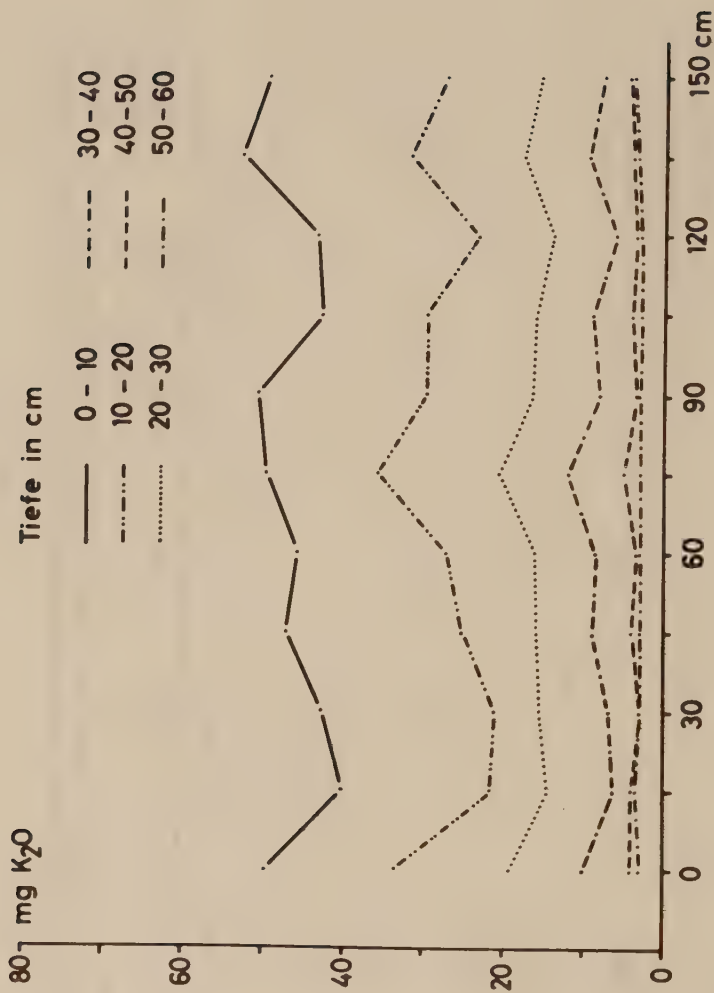


Abbildung 55  
Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in mg  $K_2O/100$  g Boden) in der Rebgrasse der Behandlung A (Oberflächendüngung) und Kalium-Düngungsstufe  $K_1$  in Worms-Abenheim am 9. 12. 1969

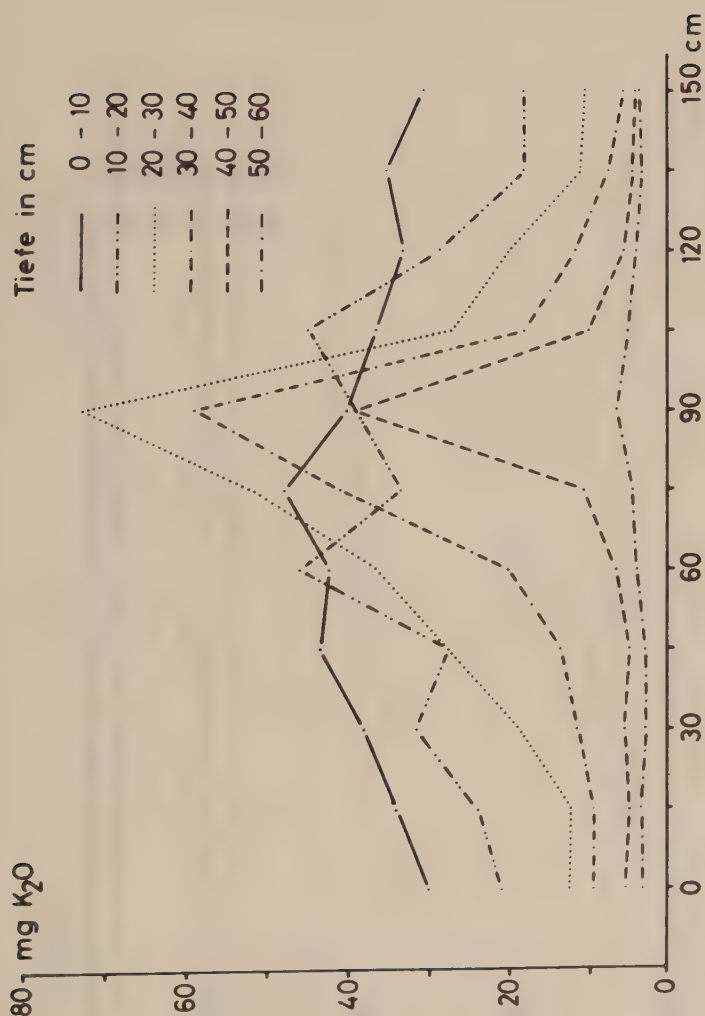


Abbildung 56  
Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) in der Ribgasse der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) und Kalium-Düngungsstufe K<sub>1</sub> in Worms-Äbenheim am 9. 12. 1969

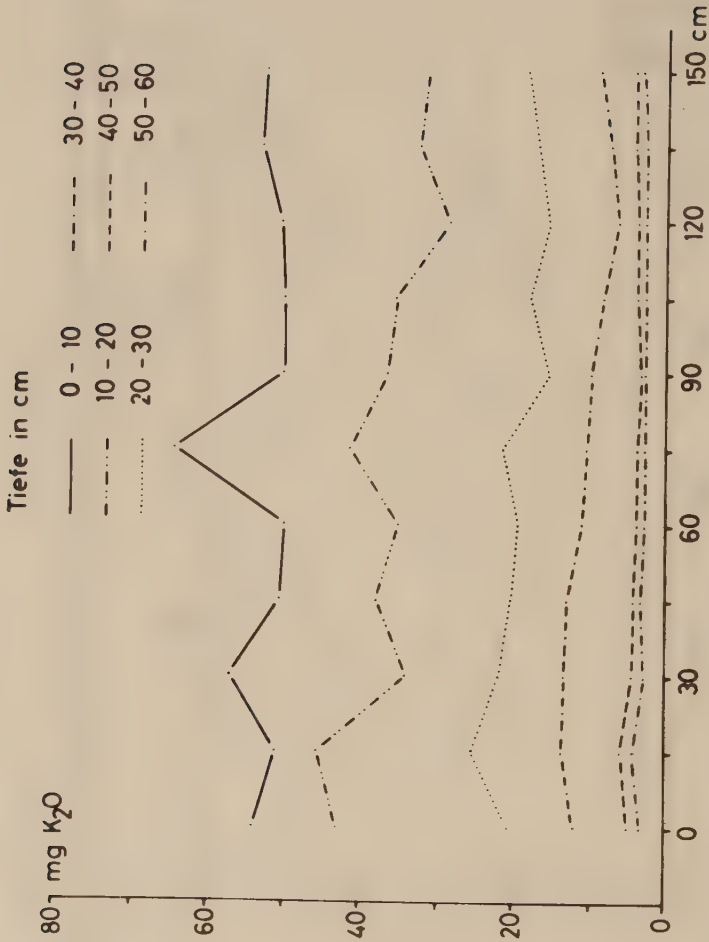


Abbildung 57  
Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) in der Ribgasse der Behandlung A (Oberflächendüngung) und Kalium-Düngungsstufe K<sub>2</sub> in Worms-Abenheim am 9. 12. 1969

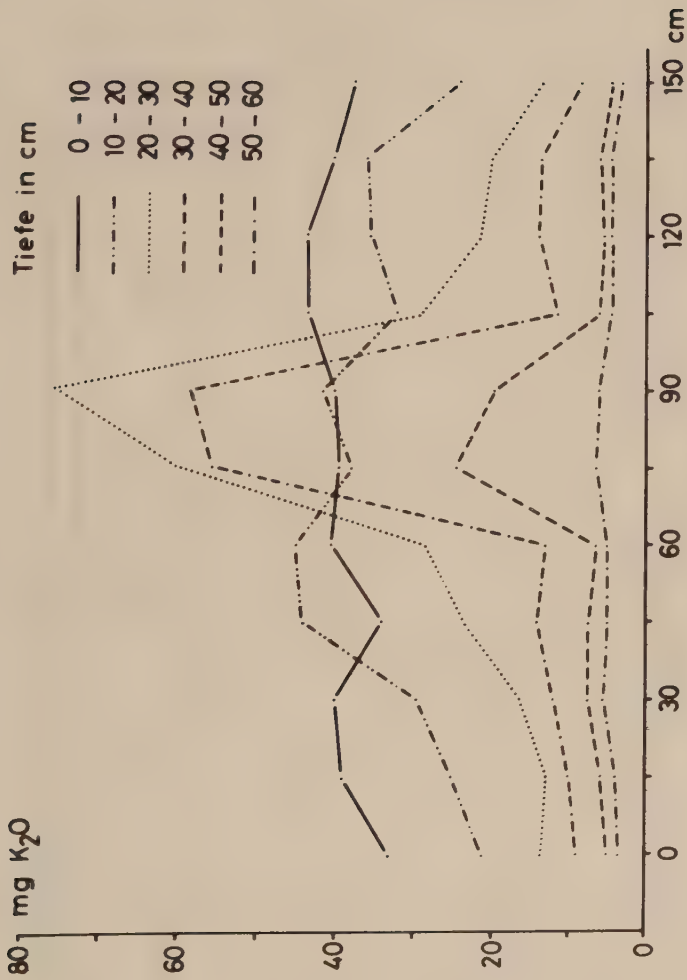


Abbildung 58

Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in  $mg K_2O/100 g$  Boden) in der Rebasse der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) und Kalium-Düngungsstufe  $K_2$  in Worms-Abenheim am 9. 12. 1969

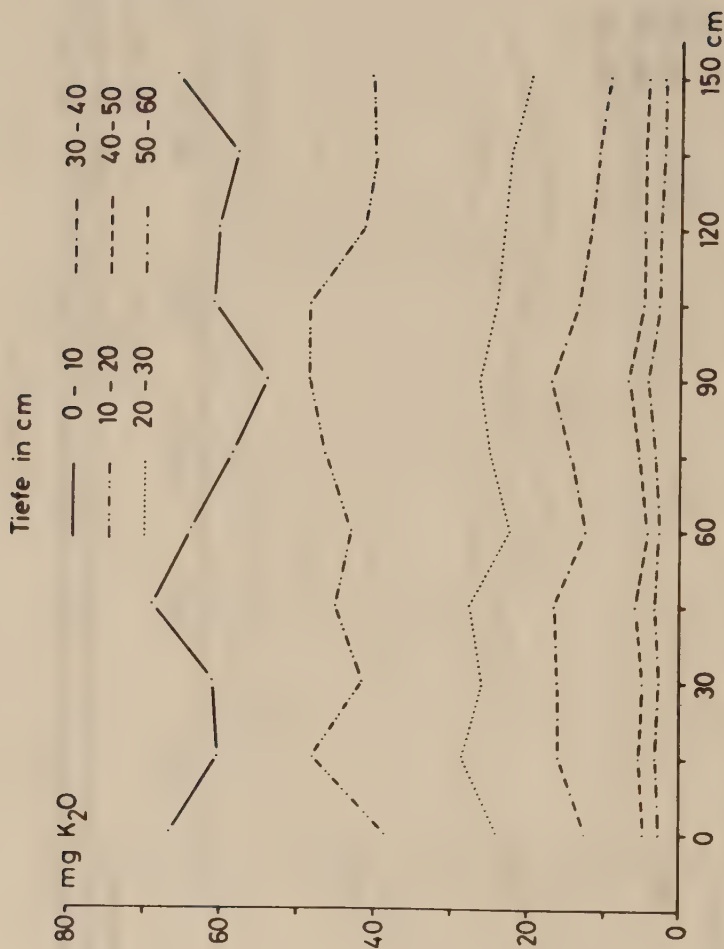


Abbildung 59  
Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) in der Rebasse der Behandlung A (Oberflächendüngung) und Kalium-Düngungsstufe K<sub>3</sub> in Worms-Abenheim am 9, 12, 1969

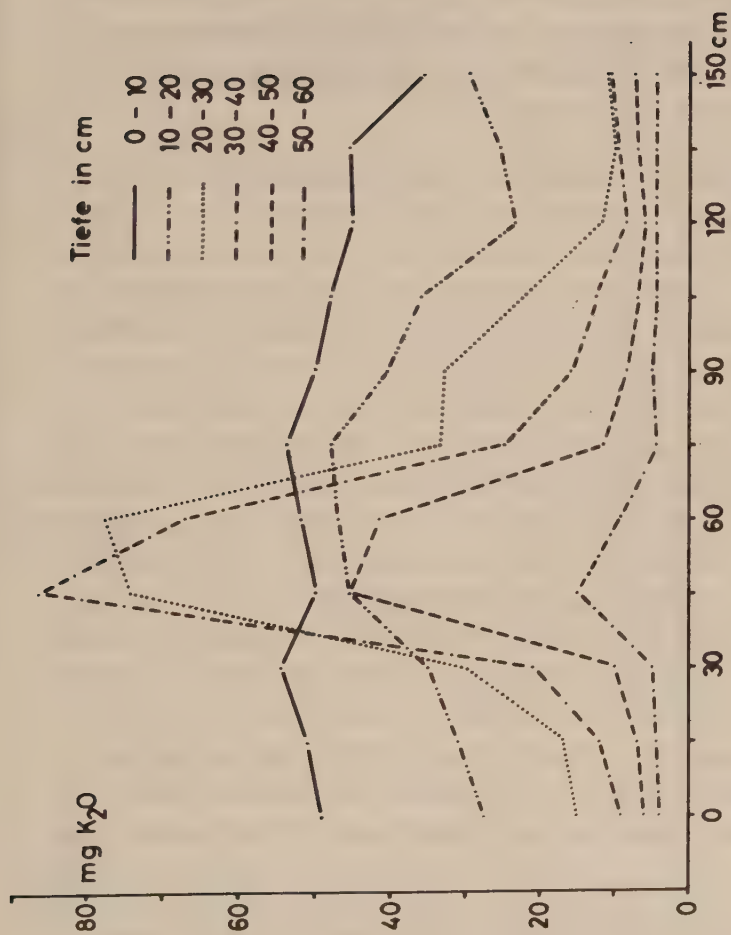


Abbildung 60  
Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in mg  $K_2O$ /100 g Boden) in der Rebgrasse der Behandlung C (Tiefendüngung, Depotstreifen) und Kalium-Düngungsstufe  $K_3$  inWorms-Abenheim am 9. 12. 1969

kein Kalium erhielt. Im Depotstreifen (CD) selbst erfolgte wie in Behandlung A zwar auch eine Anhebung des Kalium-Gehaltes der Krume, jedoch ebenfalls eine solche des Bodens in 20 - 40 cm Tiefe. Hierbei machten sich die gesteigerten Gaben der Kalium-Düngungsstufen bemerkbar. Im Bodenbereich 40 - 60 cm ließ sich ein Kalium-Anstieg nur in der höchsten Düngungsstufe ( $K_3$ ) nachweisen.

Im Jahre 1968 war der Depotstreifen in der Behandlung C optisch nicht mehr zu erkennen, und die Probeentnahme in Gassenmitte erbrachte stark streuende, nicht auswertbare Resultate. Aus diesem Grunde wurden am 8. 10. 1968 quer zur Rebgasse in 15 cm Abstand mit dem Bohrstock in 8facher Wiederholung von 0 - 60 cm Tiefe, unterteilt in 10 cm-Abschnitte, Bodenproben entnommen. Diese Entnahmeweise erbrachte ein Querschnittsbild der Kalium-Verteilung in der Rebgasse für die Behandlung A und C und deren Kalium-Steigerungsstufen (Abb. 49 bis 54). Die Kurvenbilder machen deutlich, daß in der Behandlung A die Düngung lediglich den Kalium-Spiegel des Oberbodens anzuheben vermochte, den sehr kaliumarmen Unterboden aber unbeeinflußt ließ. Die Steigerung der Kalium-Düngung ist erkennbar. Im Kurvenbild der Behandlung C fällt der Depotstreifen als steiler Peak auf. Die Tiefendüngung hat bis in 50 cm Bodentiefe den Kalium-Gehalt des Depotstreifenbodens ganz bedeutend gesteigert und über den Gehalt der obersten Krumenschicht hinaus erhöht. Weiterhin wird aus den Kurven deutlich, daß der Depotstreifen nicht exakt in Gassenmitte verläuft, sondern aus maschinentechnischen Gründen zwischen den Zeilen pendelt. Diese Tatsache erklärt die vorgenannten Schwierigkeiten bei der Auffindung des Depotstreifens.

Eine weitere Untersuchung der Kalium-Verteilung im Bodenquerschnitt der Rebgasse wurde am 9. 12. 1969 durchgeführt. Da infolge der zahlreichen Einstiche bei der Probeentnahme von 1968 der Boden an den Entnahmestellen stark gestört war, wurden die Proben in der Nachbargasse entnommen. Die erhaltenen Kurvenbilder (Abb. 55 bis 60) entsprechen im wesent-

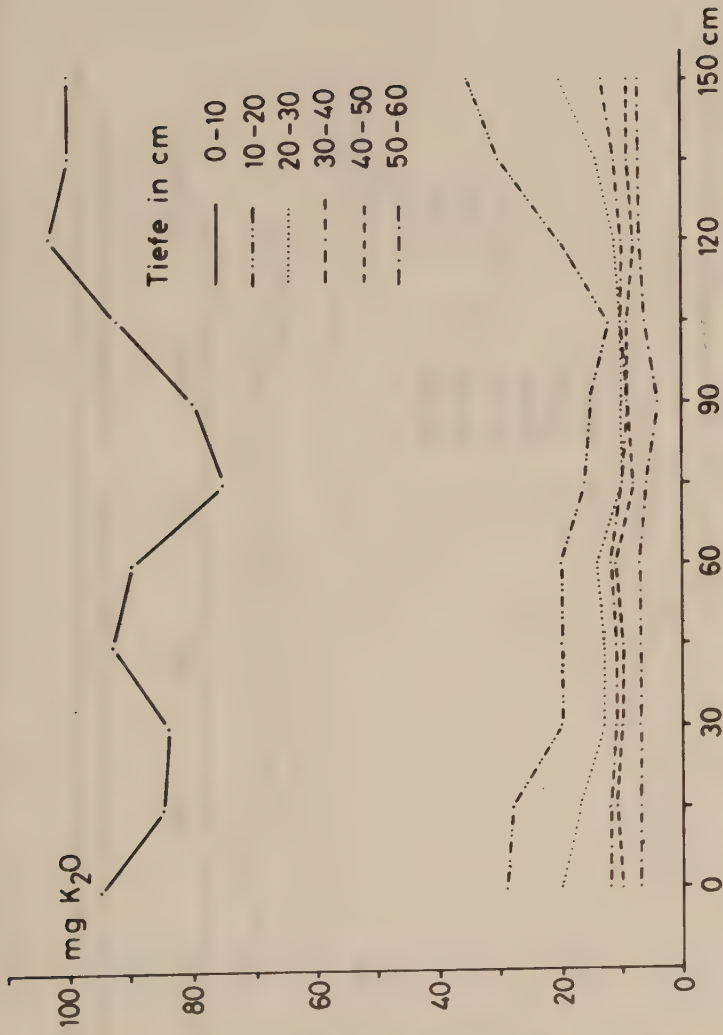


Abbildung 61  
Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in mg  $K_2O$ /100 g Boden) in der Rebgrasse der Behandlung A  
(Oberflächendüngung) und Kalium-Düngungsstufe  $K_3$  in Essingen am 16. 10. 1968

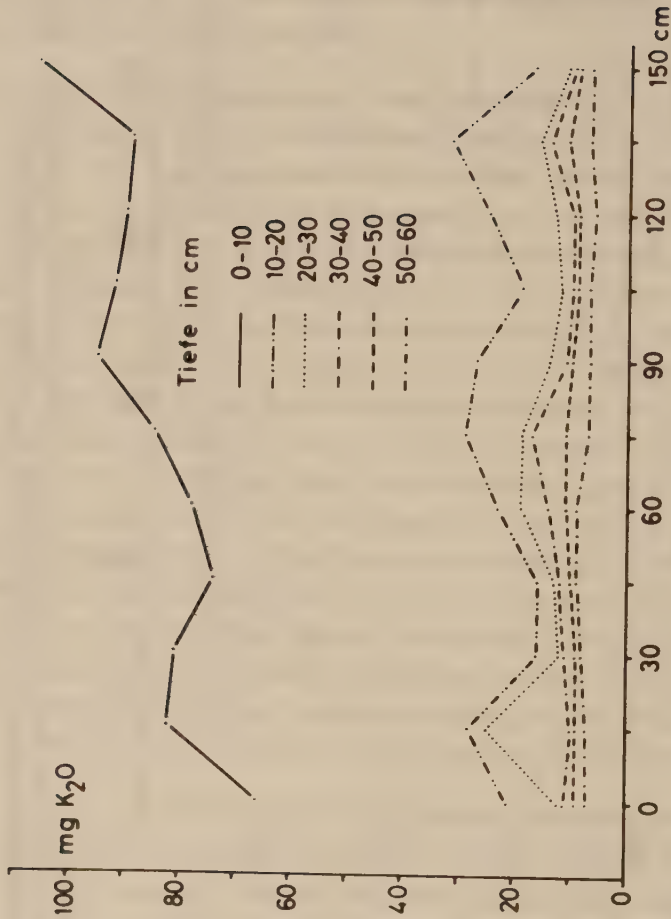


Abbildung 62  
Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in  $\text{mg K}_2\text{O}/100\text{ g}$  Boden) in der Rebgrasse der Behandlung B (Oberflächendüngung + Unterbodenlockerung) und Kalium-Düngungsstufe  $\text{K}_3$  in Essingen am 16. 10. 1968

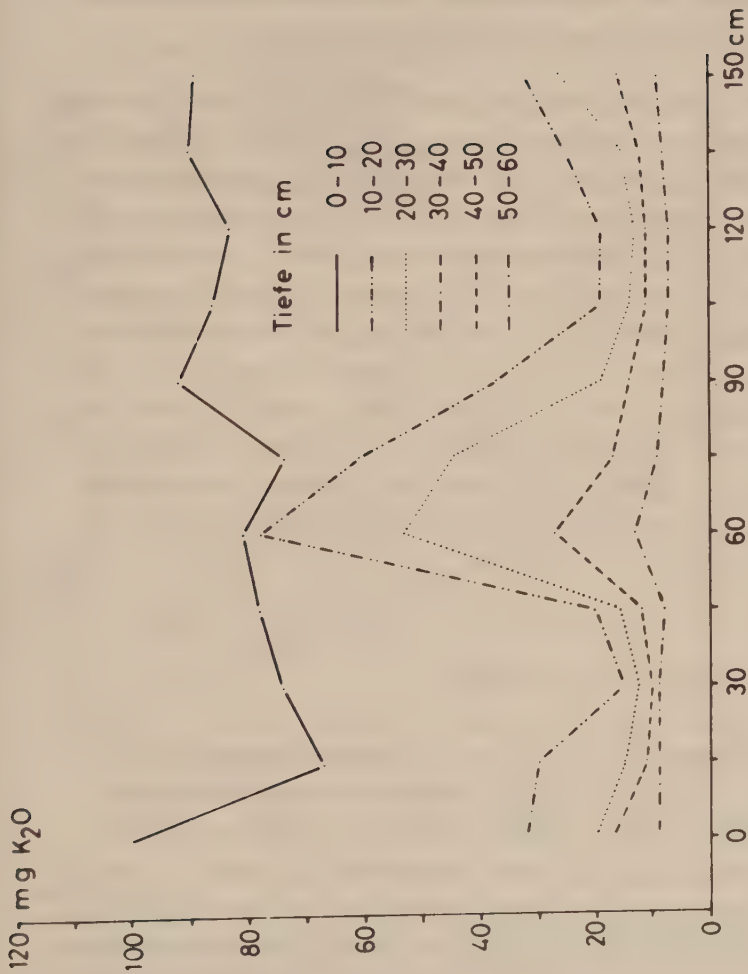


Abbildung 63  
Querschnittsbild der Kalium-Verteilung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) in der Rebgasse der Behandlung C (Tiefen-  
düngung, Depotstreifen) und Kalium-Düngungsstufe K<sub>3</sub> in Essingen am 16. 10. 1968

lichen den Ergebnissen des Vorjahres, wenn auch die absoluten Werte leicht verändert sind. Der Depotstreifen ist auch hier wieder eindeutig am sprunghaften Anstieg des Kalium-Gehaltes zu erkennen.

Analoge Untersuchungen am Standort Essingen haben die bereits in Worms-Abenheim gefundenen Ergebnisse bestätigt. Die in Essingen zusätzlich vorhandene Behandlung B (Lockerung + Oberflächendüngung) ermöglicht jedoch noch eine zusätzliche Aussage. Als Beispiel für die Kalium-Verteilung im Essinger Gassenbodenquerschnitt seien daher in den Abbildungen 61, 62 und 63 die Ergebnisse vom 16. 10. 1968 der Kalium-Düngungsstufe  $K_3$  angeführt. Sie demonstrieren sehr deutlich, daß eine Oberflächendüngung auf diesem Boden lediglich zu einem erhöhten Kalium-Gehalt in der obersten Bodenschicht führt. Eine Bodenlockerung ändert an dieser Tatsache nichts (Behandlung B). Sie beeinflußt die Verteilung des Kaliums im Profil nicht. Lediglich die Tiefendüngung mit direkter Kalium-Einmischung in den Unterboden vermag dessen Kalium-Gehalt wirksam zu erhöhen.

#### 3. 2. 4. Kalium-Bedarf von Unterböden

Um zu veranschaulichen, welche Mengen an Kalium nötig sind, um die unter 2. 1. als notwendig erachteten Laktat-Kalium-Werte im Wurzelbereich der Rebe zu erzielen, wurden Kalium-Steigerungen an drei verschiedenen kaliumarmen Unterböden vorgenommen. Die Böden wurden mit der Düngergabe ( $K_2SO_4$ ) versetzt und mit Wasser zu einer dünnen Paste verrührt. Nach 48 Stunden Einwirkungszeit unter häufigem Umrühren erfolgte die Trocknung bei Zimmertemperatur. An weiteren Proben wurde der Vorgang des Anfeuchtens und Trocknens 4mal wiederholt. Die erhaltenen Kalium-Werte sind in Abbildung 64 dargestellt, die zugehörigen Bodenkennwerte in Tab. 14. Die Ergebnisse zeigen, welche beachtlichen

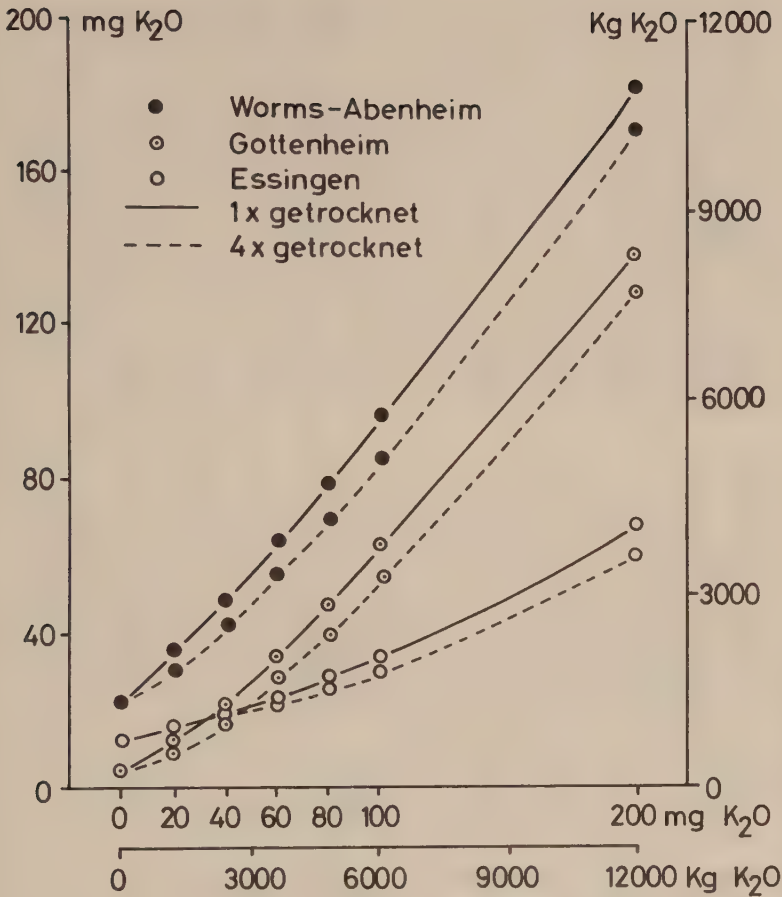


Abbildung 64

Laktat-Kalium-Gehalt (in  $\text{mg K}_2\text{O}/100\text{ g Boden}$  bzw.  $\text{kg K}_2\text{O}/\text{ha}$  von 20 - 60 cm Tiefe) in Abhängigkeit von der Kalium-Düngung (in  $\text{mg K}_2\text{O}/100\text{ g Boden}$  bzw.  $\text{kg K}_2\text{O}/\text{ha}$  von 20 - 60 cm Tiefe) bei 1- und 4maliger Befeuchtung und Trocknung

Tabelle 14  
Korngrößenverteilung (carbonatfreier Boden, in %)

| Ton<br>< 2 $\mu$         | Fein-<br>schluff<br>2-6 $\mu$ | Mittel-<br>schluff<br>6-20 $\mu$   | Grob-<br>schluff<br>20-63 $\mu$        | Feinsand<br>63-630 $\mu$         | Grobsand<br>630-2000 $\mu$ | Gesamt-<br>schluff<br>2-63 $\mu$ | Gesamt-<br>sand<br>63-2000 $\mu$ | Boden-<br>art   |
|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| Worms-Abenheim<br>17, 40 | 15, 35                        | 29, 80                             | 28, 10                                 | 2, 90                            | 6, 45                      | 73, 25                           | 9, 35                            | IIU             |
| Essingen<br>30, 50       | 18, 15                        | 25, 60                             | 20, 95                                 | 3, 00                            | 1, 80                      | 64, 70                           | 4, 80                            | utL             |
| Gottenheim<br>8, 70      | 15, 40                        | 16, 20                             | 52, 64                                 | 6, 78                            | 0, 28                      | 84, 24                           | 7, 06                            | IIU             |
| Bodenkennndaten          |                               |                                    |                                        |                                  |                            |                                  |                                  |                 |
| pH-Wert                  | CaCO <sub>3</sub><br>%        | K <sub>2</sub> O<br>mg/100 g Boden | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>Boden | org. Subst.,<br>%<br>(C x 1, 72) | AK                         | Na                               | K                                | Ca<br>Mg        |
| Worms-Abenheim<br>7, 28  | 26, 84                        | 22, 0                              | 3, 8                                   | 1, 67                            | 16, 72                     | 1, 08                            | 0, 62                            | 14, 91<br>1, 22 |
| Essingen<br>6, 85        | 0, 55                         | 12, 0                              | 12, 0                                  | 1, 28                            | 18, 96                     | 1, 05                            | 0, 28                            | 16, 84<br>1, 83 |
| Gottenheim<br>7, 58      | 33, 58                        | 4, 0                               | 1, 2                                   | 0, 12                            | 7, 36                      | 0, 38                            | 0, 14                            | 4, 03<br>3, 01  |

Mengen Kalium (in mg  $K_2O/100$  g Boden) bzw. kg  $K_2O/ha$  von 20 - 60 cm Tiefe) je nach Bodenart und Kalium-Verarmung der Tonminerale notwendig sind, um den für die Rebe als günstig erachteten Kalium-Spiegel im Boden aufzubauen. Bei mehrfacher Anfeuchtung und Trocknung erniedrigt sich der laktatverfügbare Kalium-Gehalt im Boden gegenüber der einmaligen Trocknung. Diese Verringerung des laktatlöslichen Kaliums ist als Fixierung anzusehen. Die Menge des durch die Trocknung zusätzlich fixierten Kaliums ist ziemlich unabhängig von der Höhe der Kalium-Düngung. Diese Tatsache spricht dafür, daß eine gewisse Anzahl an kaliumspezifischen Bindungspositionen abgesättigt wird, daß das von diesen sorbierte Kalium laktatunlöslich ist und damit nicht zur Erhöhung des laktatverfügbaren Kaliums beiträgt.

Die Ergebnisse der Feldversuche haben die geringe Wirksamkeit einer Oberflächendüngung unter Beweis gestellt. Sie stimmen somit mit den Aussagen von WILHELM (1954, 1964), GÄRTEL (1959), HUSCHKA (1963) und KADISCH (1965b) überein. Diese Autoren konnten ebenfalls die ungenügende Wirksamkeit langjährig oberflächlich verabreichter Kalium-Düngergaben feststellen. POHL (1967) berichtet, daß im Kaiserstuhl und Tuniberg durch tiefgreifende Planierungsarbeiten im Löß neue, großflächige Weinbergterrassen geschaffen wurden. Diese Maßnahmen förderten den sehr kaliumarmen (4 mg DL-Kalium/100 g Boden), unverwitterten Roh-Löß an die Oberfläche. Er stellt nun in einigen Gemarkungen den neuen Rebenstandort dar. In mehreren Fällen wurde infolge Zeitmangels und aus finanziellen Gründen eine Vorratsdüngung vor dem Rügolen nicht gegeben. Daher stellten sich an den neugepflanzten Reben Kalium-Mangelsymptome ein. Durch eine nachträgliche, oberflächliche Kalium-Gabe ließ sich der notwendige hohe Kalium-Gehalt des Unterbodens selbst durch jahrelange Kalium-Düngung nicht erzielen.

Auch eigene stichprobenartige Untersuchungen im Herbst 1968 auf verschobenen Lößterrassen der Gemeinde Bickensohl in der Lage "Bitzen-

berg" haben ähnliche Ergebnisse erbracht. Eine 4jährige Müller-Thurgau/125A-Rebanlage mit ausgeprägten Kalium-Mangelerscheinungen hatte vor dem RígoIen keine Vorratsdüngung erhalten. Die oberflächliche Kalium-Düngung betrug seither 6500 kg Kalimagnesia = 1820 kg  $K_2O$ /ha. Diese Gabe erhöhte den DL-Kalium-Gehalt des Bodens an 2 Entnahmepositionen gegenüber dem ungedüngten Terrassenrand nur wie folgt:

| Tiefe (cm)       | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 |
|------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Terrassenrand    | 3,0  | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,5   |
| Rebanlage Pos. 1 | 17,0 | 6,0   | 3,0   | 2,5   | 3,0   | 3,5   |
| " " 2            | 18,0 | 7,0   | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   |

In der Tendenz vergleichbare Werte ergaben sich auch in anderen Rebanlagen der Gemeinde Bickensohl und in 4jährigen Rebflächen der Gemeinde Gottenheim. In allen Fällen war der Unterboden mit Kalium unterversorgt. Zu ähnlichen Werten - ebenfalls auf Rohlöß - kommt auch POHL (1967). In seinen Untersuchungen vermochte eine bis 40 cm Tiefe einrigelte Vorratsdüngung von 5000 kg Kalimagnesia = 1400 kg  $K_2O$ /ha den Kalium-Gehalt des Unterbodens in 40 cm Tiefe lediglich von 4 auf 11 mg  $K_2O$ /100 g Boden zu erhöhen. Eine standortgerechte Vorratsdüngung hätte also noch weit höher bemessen werden müssen. Eindrucksvolle Zahlen für eine schlechte Kalium-Versorgung des Unterbodens allerdings schon langjährig weinbaulich genutzter Standorte führen auch MAY und BECKER (1968) an.

### 3. 2. 5. Reaktion der Rebe auf die Kalium-Tiefendüngung

#### 3. 2. 5. 1. Kalium-Aufnahme durch die Rebe

Wie die Untersuchungen der Kalium-Verteilung im Bodenquerschnitt der Rebasse gezeigt haben, bestehen markante Unterschiede zwischen den Bodenbehandlungen. Während die Behandlung A im Unterboden nach wie vor nur geringe Kalium-Gehalte aufweist, ist die Behandlung C im Unterboden des Depotstreifens, d. h. im Hauptwurzelbereich der Rebe, gut mit Kalium versorgt. Der erstrebte Effekt wurde also erreicht und müßte nun auch seinerseits einen Einfluß auf die Kaliumversorgung der Rebe ausüben.

Zum Zwecke des Nachweises einer Kalium-Wirkung auf die Rebe wurde in den Jahren 1967, 1968 und 1969 nach der Ernte in der Versuchsanlage Worms-Abenheim Pflanzenmaterial entnommen. Als repräsentatives Organ der Rebpflanze wurde der 3. Trieb an der Bogrebe ausgewählt und von diesem Sproßachse und Blattstiele auf ihren Kalium-Gehalt analysiert. Die Ergebnisse wurden varianzanalytisch verrechnet und sind in der Tabelle 15 und der Abbildung 65 zusammengefaßt. Sie zeigen eindeutig, daß die Reben der Behandlung C einen signifikant höheren Kalium-Gehalt in Sproßachse und Blattstielen aufweisen als die der Kontrollbehandlung A. Die Kalium-Tiefendüngung des Rebenwurzelbereiches in Form des Depotstreifens hat also tatsächlich die Kalium-Aufnahme der Reben verbessert. Des weiteren macht sich im Kalium-Gehalt der Blattstiele die Steigerung der Kalium-Gaben in der Behandlung C deutlich, in A weniger ausgeprägt bemerkbar. Der Kalium-Gehalt des Holzes wird durch die gesteigerte Düngung weniger modifiziert.

Am Versuchsstandort Essingen konnten bei analogen Untersuchungen in den Jahren 1968 und 1969 (Abb. 66) keine signifikanten Wirkungen der Kalium-Düngungsmaßnahmen verzeichnet werden.

Tabelle 15

Mittlerer Kalium-Gehalt (in % K Tr. M<sub>1</sub>) im Blattstiel und in der Sproßachse der Reben des Versuchsstandortes Worms-Abenheim

| Entnahme-<br>datum                | 6. 10. 1967                                               |      |      | 8. 10. 1968 |      |      | 10. 10. 1969 |      |      | 1967 - 1969 |      |      |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------|------|------|-------------|------|------|--------------|------|------|-------------|------|------|
|                                   | 50                                                        | 100  | 150  | 50          | 100  | 150  | 50           | 100  | 150  | 50          | 100  | 150  |
| Behandlung                        | Kalium-Düngungsstufe (in mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden) |      |      |             |      |      |              |      |      |             |      |      |
|                                   | 50                                                        | 100  | 150  | 50          | 100  | 150  | 50           | 100  | 150  | 50          | 100  | 150  |
| Blattstiel                        | $\bar{x}$                                                 |      |      |             |      |      |              |      |      |             |      |      |
| Oberflächendüngung                | 0,70                                                      | 0,93 | 0,98 | 0,87        | 0,51 | 0,80 | 0,95         | 0,75 | 0,90 | 1,02        | 0,91 | 0,94 |
| Tiefendüngung                     | 1,31                                                      | 1,56 | 2,44 | 1,77        | 1,36 | 1,38 | 1,66         | 1,47 | 1,32 | 1,51        | 1,79 | 1,54 |
| $\bar{x}$                         | 1,01                                                      | 1,25 | 1,71 | 1,32        | 0,94 | 1,09 | 1,31         | 1,11 | 1,11 | 1,27        | 1,35 | 1,24 |
| Ges. Diff. p=5%<br>Düngung        | 0,06                                                      |      |      |             |      |      |              |      |      |             |      |      |
| Ges. Diff. p=5%<br>Behandlung     | 0,05                                                      |      |      |             |      |      |              |      |      |             |      |      |
| Ges. Diff. p=5%<br>Wechselwirkung | 0,16                                                      |      |      |             |      |      |              |      |      |             |      |      |
| Sproßachse                        | $\bar{x}$                                                 |      |      |             |      |      |              |      |      |             |      |      |
| Oberflächendüngung                | 0,57                                                      | 0,59 | 0,59 | 0,58        | 0,41 | 0,47 | 0,53         | 0,47 | 0,82 | 0,88        | 0,92 | 0,87 |
| Tiefendüngung                     | 0,79                                                      | 0,83 | 0,96 | 0,86        | 0,67 | 0,68 | 0,74         | 0,70 | 1,02 | 1,07        | 1,20 | 1,10 |
| $\bar{x}$                         | 0,68                                                      | 0,71 | 0,78 | 0,72        | 0,54 | 0,58 | 0,64         | 0,58 | 0,92 | 0,98        | 1,06 | 0,99 |
| Ges. Diff. p=5%<br>Düngung        | 0,11                                                      |      |      |             |      |      |              |      |      |             |      |      |
| Ges. Diff. p=5%<br>Behandlung     | 0,09                                                      |      |      |             |      |      |              |      |      |             |      |      |
| Ges. Diff. p=5%<br>Wechselwirkung | 0,15                                                      |      |      |             |      |      |              |      |      |             |      |      |

n. s.

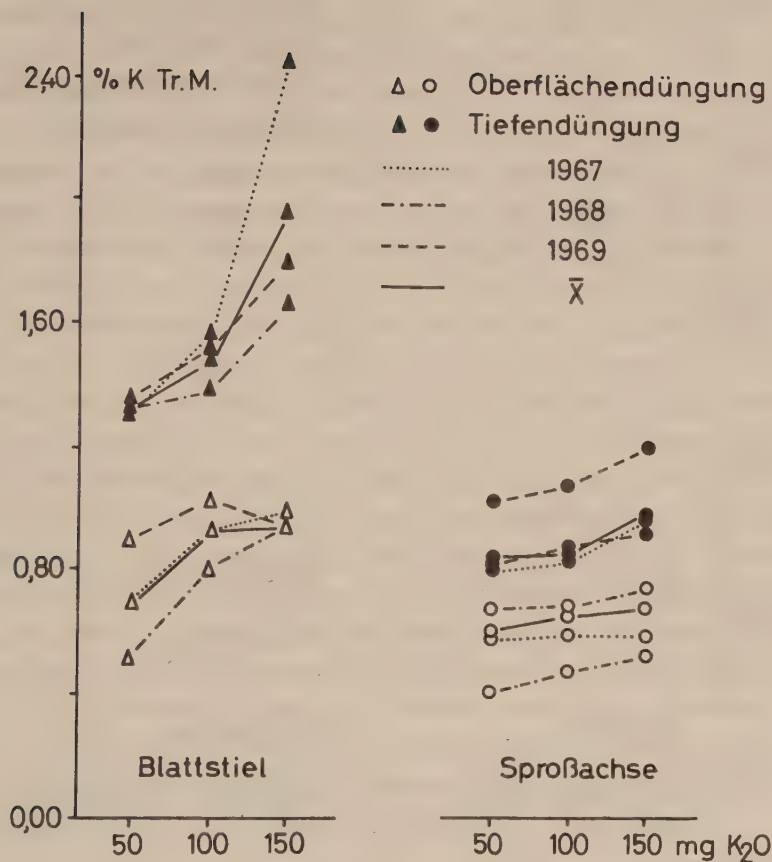


Abbildung 65

Kalium - Gehalt (in % K Tr. M.) von Blattstiel und Sproßachse der Reben des Versuches Worms-Abenheim in Abhängigkeit von der Kalium-Düngung (50, 100, 150 mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) und der Behandlung (Oberflächendüngung, Tiefendüngung) in den Jahren 1967, 1968 und 1969 während der ersten Oktober-Dekade

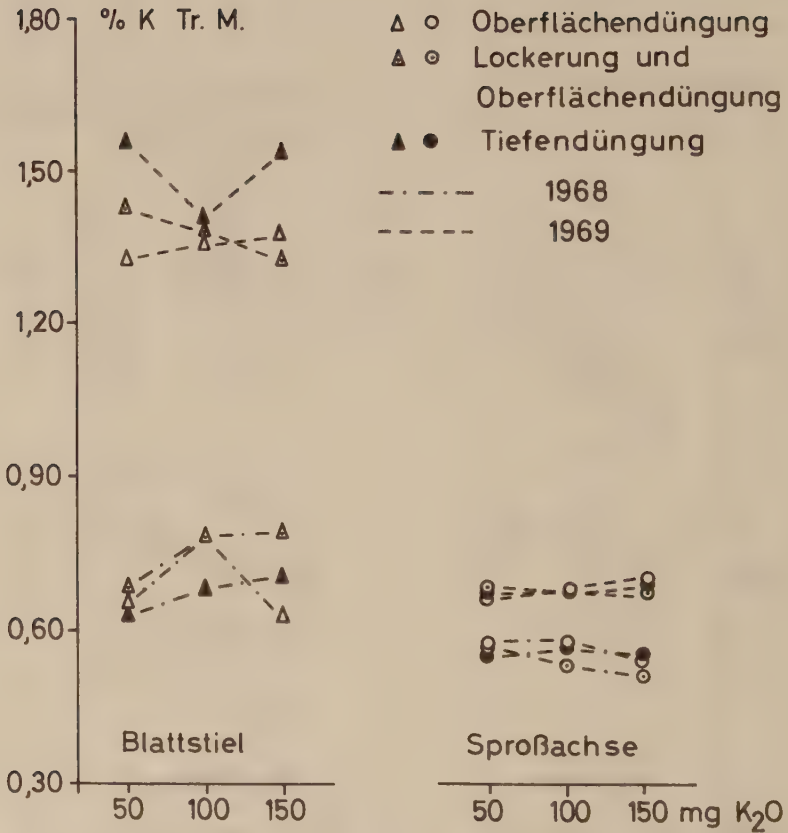


Abbildung 66

Kalium - Gehalt (in % K Tr. M.) von Blattstiel und Sproßachse der Reben des Versuches Essingen in Abhängigkeit von der Kalium-Düngung (50, 100, 150 mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) und der Behandlung (Oberflächendüngung, Oberflächendüngung + Unterbodenlockerung, Tiefendüngung) in den Jahren 1968 und 1969 während der ersten Oktober-Dekade

### 3. 2. 5. 2. Traubenertrag

Einen beachtlichen und statistisch gesicherten Einfluß hatte die Kalium-Tiefendüngung auf dem Standort Worms-Abenheim auch auf den Traubenertrag. Zwar konnten im Herbst 1967 die Leseergebnisse infolge der extrem nassen Witterungsverhältnisse (MOHR 1967, N. N. 1967) mit außergewöhnlicher Traubenfäulnis (ca. 90 %) und enormem Bodentraubenanfall nach einem Hagelunwetter nicht erfaßt werden, doch war in den beiden folgenden Jahren eine Ertragsbestimmung möglich. Wie die Abbildung 67 zeigt, waren 1968 die durchschnittlichen Einzelstockerträge hoch (mehr als 2 kg). Trotzdem konnte mit der Depotstreifendüngung gegenüber der oberflächlichen Kalium-Anwendung noch ein statistisch gesicherter Ertragsanstieg erzielt werden. Weit vorteilhafter wirkte sich im Folgejahr 1969 die Kalium-Tiefendüngung aus. Während die oberflächennah mit Kalium gedüngten Reben der Kontrollbehandlung A nur einenmäßigenEinzelstockertrag von durchschnittlich 1,25 kg aufwiesen, d. h. eine gewisse Alternanz erkennen ließen, lagen die Erträge der tiefgedüngten Behandlung C bei durchschnittlich 1,85 kg pro Rebstock. Der hohe Vorjahresertrag hat also in diesem Fall unter verbesserter Kalium-Versorgung den Ertrag der Reben im Folgejahr weniger negativ beeinflußt. Die Ertragsschwankung wurde stark gedämpft. Wie ein Vergleich der Kalium-Steigerungsstufen zeigt, ist bei oberflächennaher, d. h. praxisüblicher Kalium-Anwendung, eine Steigerung der verabreichten Kalium-Düngung nicht ertragswirksam gewesen. Auch bei der Depotstreifendüngung erbrachte die varianzanalytische Verrechnung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngungsstufen.

Legt man zum Zwecke einer Überschlagsrechnung die im Versuch Worms-Abenheim durch die Tiefendüngung erzielten durchschnittlichen Mehrerträge pro Stock von 180 g und 600 g in den Jahren 1968 und 1969 zugrunde, so ergeben sich bei ca. 5500 Stock/ha Mehrerträge von 990 bzw. 3300 kg Trauben/ha. Der Mehrertrag ist bei gleicher angewandter Kalium-Menge lediglich ein Effekt der unterschiedlichen Bodenbehandlung, d. h. der unterschiedlichen Düngerplatzierung und der mit dieser verbundenen Bodenlockerung.

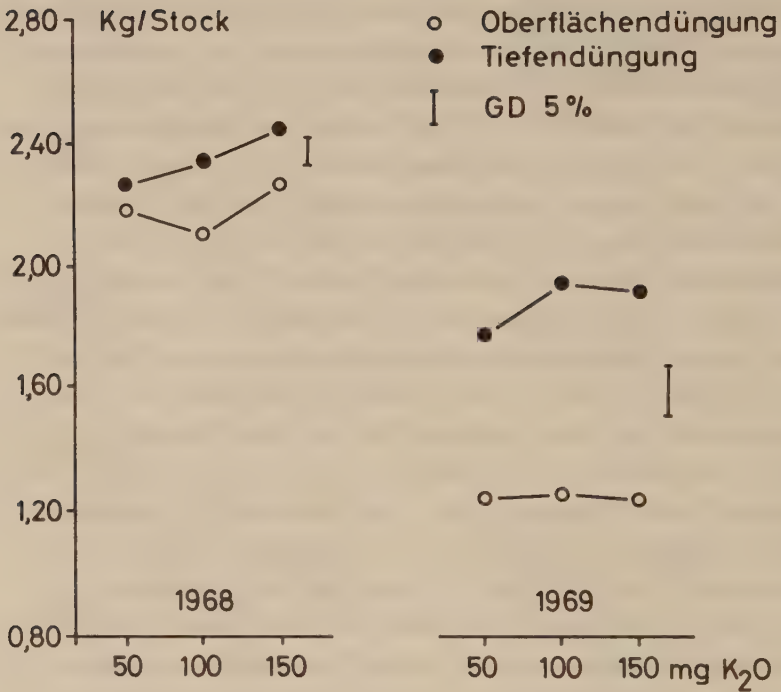


Abbildung 67

Traubenertrag (in kg/Stock) der Reben des Versuches Worms-Abenheim in Abhängigkeit von der Kalium-Düngung (50, 100, 150 mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) und der Bodenbehandlung (Oberflächendüngung, Tiefendüngung) in den Jahren 1968 und 1969

GD 5 % = ges. Diff.  $p = 5\%$  zwischen den Behandlungen

Die Erträge des Feldversuches Essingen konnten 1967 ebenfalls aus Gründen der extremen Witterung nicht erfaßt werden. Im Frühjahr 1968 wurde dann die Anlage nach dem Austrieb durch ein schweres Hagelunwetter stark geschädigt; die jungen Triebe, Blätter und Gescheine wurden zum größten Teil abgeschlagen. Zwar konnten sich die Reben später wieder erholen, die Ernte fiel jedoch fast völlig aus. Infolge der Hageleinwirkung war die vegetative Entwicklung der Reben sehr unausgeglich. Während einzelne Pflanzen einige wenige sehr mastige Triebe entwickeln konnten, blieben andere im Holzwachstum nur schwach oder starben ab. Darüber hinaus wies das Holz zahlreiche Hagelwunden auf. Im Frühjahr 1969 bereitete der Anschnitt neuen Tragholzes große Schwierigkeiten. Die notgedrungen verwendeten Ruten wiesen unterschiedliche Länge, Dicke und Augenzahl auf; viele brachen beim Biegen an den Hagelwunden ab. Dadurch entwickelten sich die Reben sehr unterschiedlich. Der Behang variierte stark von Stock zu Stock. Weitere Pflanzen gingen im Laufe des Jahres ein. So mußte auf die Ertragsfeststellung wiederum verzichtet werden. Da die Lese für den Besitzer völlig unbefriedigend verlief, wurde die Rebanlage im Spätherbst 1969 ausgehauen.

### 3.2.6. Besprechung

Die Feldversuche haben ergeben, daß die Tiefendüngung in Form des Depotstreifens eine erfolgreiche Methode ist, einem kaliumarmen Unterboden unmittelbar Kalium zuzuführen. Die hierzu angewandte Methodik hat sich als geeignet erwiesen. Sie ermöglicht eine über einen längeren Zeitraum anhaltende Lockerung und die Einmischung des verabreichten Kalium-Düngers in den Unterboden.

Wenn ein Kalium-Mangel in stehenden Rebanlagen beseitigt werden soll, ist ein mechanischer Eingriff in den Unterboden notwendig. Dabei wird dieser in Gassenmitte intensiv umgelagert und sein natürlicher Gefügebau gestört und aufgelockert. In vielen Fällen ist diese Auflockerung des Bodens ein unnötiger

Begleitumstand der Kalium-Tiefendüngung. Unter physikalisch ungünstigen Bodenbedingungen (z. B. Chlorosebedingungen: s. GÄRTEL 1965 a, SCHRAEDER 1970) kann er hingegen ein sehr erwünschter Nebeneffekt mit seinerseits positiver Auswirkung auf das Rebenwachstum sein. Es muß gewährleistet werden, daß nach Anlage des Depotstreifens die gelockerte Bodenstruktur erhalten bleibt, damit die Rebwurzeln sich kräftig regenerieren und aktiv das Kalium und andere Nährstoffe aufnehmen können (KUNTZE 1966).

Nach MENGEL (1962) hängt die Kalium-Aufnahme der Pflanze nämlich eng mit der Sauerstoffversorgung der resorbierenden Zelle zusammen. Diese vermag Kalium selektiv aufzunehmen und in Zellsaft und Cytoplasma zu relativ hoher Konzentration anzureichern, solange ihr Stoffwechsel unbehindert ist (SPANSWICK und WILLIAMS 1964 und MENGEL 1968). Nach MARSCHNER und MENGEL (1966) tritt sogar eine erhöhte Kalium-Abgabe ein, sobald die oxydative Atmung behindert, dadurch nach MARSCHNER, HANDLEY und OVERSTREET (1966) die Zellwand in ihrer Funktion beeinträchtigt und die Kalium-Aufnahme eingeschränkt wird. In Versuchen von LEVY (1964) hing die Kalium-Aufnahme der Reben und der daraus resultierende Kalium-Gehalt der Blätter mehr von der physikalischen Bodenstruktur ab als von der chemischen Bodenzusammensetzung. Auch GRUPPE (1965) weist darauf hin, daß die Wurzeln der Obstgehölze außerordentlich empfindlich gegenüber unzureichendem Gasaustausch und Sauerstoffmangel sind, und eine Nährstoffaufnahme nur bei guter Durchlüftung und ungestörtem Gasaustausch erfolgt.

Wie aus der Literatur von zahlreichen Autoren bekannt ist, kann eine meliorativ gedachte Tiefendüngungs-Maßnahme sich in ihr Gegenteil verkehren, z. B. weisen Schluffböden und schluffige Lehme auf Löß nach jeder Gefügestörung einen nur sehr labilen Gefügestand auf, welcher schon bei geringer Beanspruchung durch Wasser oder Gerätedruck zusammenbrechen kann (KUNTZE 1967). Von BOGUSLAWSKI (1966) betont, daß auf ackerbaulich genutzten Lößböden eine Krumenvertiefung nicht möglich ist. Die in ihrem Verband gestörte und gelockerte Bodenschicht würde zusammenfließen. SCHULTE-

KARRING (1969) weist darauf hin, daß die Reben in einem kurzfristig wiederverdichteten Boden nicht in der Lage sind, ihre durch die Lockerung abgeschnittenen Wurzeln zu regenerieren. Eigene Beobachtungen in Asselheim/Pfalz bestätigen dies. In einem solchen Fall kann die Lockerung der Rebanlage schwere Schäden zufügen.

Die Stabilisierung der Lockerung erreicht man nach SCHULTE-KARRING (1966, 1967, 1969) und HOMRIGHAUSEN, HOCHMUTH und BUDIG (1970) durch mineralische und organische Zusätze sowie die sofortige Durchwurzelung durch angesäte Pflanzen. Nach KUNTZE (1967) führt die Beweglichkeit der Schluffteilchen immer dort bald zu sekundären Verlagerungsverdichtungen, wo es unterlassen wurde, diesen durch Wurzelverbau und Humuszufuhr zu begegnen.

Zahlreiche Autoren beschäftigen sich mit der Wirkung einer Tiefendüngung mit den Hauptnährstoffen auf die Wurzelentwicklung der Pflanzen und den positiven Effekten verschiedener in den Boden eingearbeiteter organischer Substanzen. Nach GLIEMEROTH (1953, 1955, 1967), KUNTZE (1967), SCHULTE-KARRING (1966, 1967) und MATZNER (1966) hat die zusätzliche Tiefendüngung mit Stickstoff und Phosphor den größten Effekt auf die Feinwurzelentwicklung, während Kalium nicht positiv wirkt. Die Wurzelmasse, Wurzelverzweigung und die Ausbildung vieler Wurzelhaare, d. h. die Entwicklung einer großen, resorbierenden Wurzeloberfläche, wird ganz entscheidend gefördert. Einen ebenfalls positiven Effekt auf die Wurzelregeneration, Feinwurzelbildung und Verzweigungshäufigkeit übt eine tiefe organische Düngung mit Torfprodukten und Komposten aus. Diese haben darüber hinaus einen lockernden und stabilisierenden Einfluß auf die Bodenstruktur. Sie gewährleisten den erforderlichen Gasaustausch, erhöhen die Wasserkapazität des Bodens und steigern die Welkeresistenz der Rebe (NIGGEMANN 1964, HILKENBÄUMER 1966, KADISCH 1966 und IONESCU 1967). Wird also im Rahmen der Kalium-Tiefen-

düngung gleichzeitig auch eine Düngung mit Stickstoff und Phosphor (falls notwendig) vorgenommen und der Depotstreifen mit Torf oder Komposten verbessert, so sind folgende Punkte sichergestellt:

1. schnelle Wurzelregeneration
2. intensive Wurzelverzweigung und Wurzelhaarausbildung
3. stabile, lockere Bodenstruktur
4. schneller Gasaustausch, gute Wasserführung
5. erhöhte Wasserkapazität im Depotstreifen, der Zone des stärksten Wasserbedarfes und höchster Nährstoffaufnahme

Somit bestehen günstige Bedingungen für die Kalium-Aufnahme durch die Reben und es kann mit einem bestmöglichen, nachhaltigen Düngungserfolg gerechnet werden.

Für die Versuchsstandorte Worms-Abenheim und Essingen waren die hier aufgezeigten Gefahren für das Bodengefüge durch die Anlage eines Depotstreifens weniger gegeben. Der Boden des Versuches Worms-Abenheim befand sich in sehr gutem Kulturzustand. Er wies durch die regelmäßige Torfdüngung eine gute Krümelstruktur auf. Dem Boden des Standortes Essingen kam sein relativ hoher Tongehalt zugute. Er war jedoch gegen das Befahren und das Betreten im feuchten Zustand bei der Lese 1967 sehr empfindlich, und es trat als Folge dieser Einwirkungen eine Wiederverdichtung des Oberbodens im Depotstreifenbereich ein. Der Boden in Worms-Abenheim konnte den gleichen Einwirkungen seines Torfanteiles im Oberboden wegen widerstehen.

Aufgrund der begrenzten Versuchsflächen mußten die Varianten auf die Prüfung der Kalium-Wirkung beschränkt bleiben. Zusätzliche positive Auswirkungen verbesserter chemischer und physikalischer Bedingungen im Depotstreifen konnten daher nicht geprüft werden, sie schienen hier in diesem Zusammenhang aber erwähnenswert.

Nach v. BOGUSLAWSKI (1966) kann es eintreten, daß nach einer Lockerung das vorher vorhanden gewesene Porenvolumen nur noch teilweise erhalten ist.

Eine Rammsondenmessung weist in einem solchen Fall trotz verringerten Porenvolumens dennoch einen verminderten Bodenwiderstand gegenüber "unbehandelt" auf. Es ergibt sich somit eine Diskrepanz zwischen der Rammsondenmessung und der Porenvolumenmessung. In den Versuchen von GRASS (1969) verringerte die Tiefenbearbeitung den Bodenwiderstand ebenfalls. Dabei konnte er Abhängigkeiten des Bodenwiderstandes von Poren- und Wasservolumen sowie vom Bodenverband bemerken. Seine Messungen des Bodenwiderstandes zeigten noch "Lockerungserfolge", die mit der Porositätsmessung nicht mehr erfaßt werden konnten. In den eigenen Feldversuchen wurden gleichfalls Porenvolumenbestimmungen und Bodenwiderstandsmessungen durchgeführt. Wie die Ergebnisse nachweisen, waren die Verhältnisse an beiden Versuchsstandorten günstig. Beide waren zwar kalium-düngungsbedürftig, nicht jedoch lockerungsbedürftig. Die Lockerung im Rahmen der Depotstreifenanlage bewirkte in beiden Fällen neben der Verringerung des Bodenwiderstandes eine Erhöhung des Porenvolumens und hier insbesondere der selbstdrainierenden Poren. Der nach der Lockerung einsetzende Porenraumverlust erreichte nur im Falle des Standortes Essingen 1968 im Oberboden den Wert der Kontrolle.

Die von GRASS (1969) als "Lockerungserfolg" angeführte Verringerung des Bodenwiderstandes ohne nachhaltige Porenraumzunahme kann in Fällen vor teilhaft sein, wo das Penetrationsvermögen der Wurzel nicht ausreicht, einen hohen Bodenwiderstand zu überwinden. Geht der verminderte Bodenwiderstand jedoch mit einer Labilität des Bodengefüges und einer schnellen Wiederverdichtung der gelockerten Bodenbereiche einher, so muß weit treffender von einem "Lockerungs mißerfolg" gesprochen werden. Ein solcher Mißerfolg weist auf eine unsachgemäße Lockerung und Bodennachbehandlung bzw. fehlende Begleitmaßnahmen hin, wie sie weiter oben bereits angesprochen wurden.

Da das Bodengefüge durch die Lockerung stark in Mitleidenschaft gezogen

wird, wurde mit der Bildung des Faktors  $BW:SV$  versucht, die Einflüsse des Porenvolumens auf den Bodenwiderstand abzutrennen und die relativen Stabilitätsverhältnisse des Bodengefüges im Bereich der Reb-gasse zu charakterisieren. Die Abbildung 34 zeigt z. B. in Übereinstimmung mit v. BOGUSLAWSKI (1966) und GRASS (1969) für die Tiefe 30 - 40 cm in Worms-Abenheim, daß bei gleichen Textur-, Feuchtigkeits- und Porenverhältnissen die Stabilität des Bodengefüges der bestimmende Faktor für die Höhe des Bodenwiderstandes ist.

Die Rebe vermag die durch die Lockerung erlittenen Wurzelschäden schnell zu überwinden. Eine Verminderung des Triebwachstums, wie sie HOMRIGHAUSEN und HOCHMUTH (1970) bei Lockerungsmaßnahmen zur Chlorosebekämpfung (keine zusätzliche Düngung) beobachteten, tritt in den Versuchen nicht ein. Vielmehr vermögen die Reben mit den neugebildeten Feinwurzeln das verabreichte Kalium aufzunehmen. Die vermehrte Kalium-Aufnahme läßt sich am erhöhten Kalium-Gehalt des Pflanzengewebes nachweisen. Die verbesserte Kalium-Versorgung der Reben führt zu einem Anstieg des Ertrages. Ein solcher signifikanter Mehrertrag auf eine Kalium-Düngung hin ist nach LARSEN et al. (1963) und COOK und KISHABA (1957) nur dann zu erwarten, wenn die Reben vorher Kalium-Mangelsymptome aufwiesen.

Infolge der günstigen Form der Kalium-Plazierung vermögen bei Anlage eines Depotstreifens bereits relativ bescheidene Düngermengen eine beachtliche Wirkung auf die Rebe auszuüben.

390 kg  $K_2O$ /ha im Depotstreifen verabreicht waren in dem Versuch Worms-Abenheim weit wirksamer als die 3fache Menge Kalium als Oberflächengabe.

Demnach erscheint die Art der Düngerplazierung bedeutungsvoller zu sein als die absolut verabreichte Kalium-Menge.

Über die Vor- und Nachteile der Blattanalyse und deren Aussagekraft besteht eine umfangreiche Literatur. Nach GRUPPE (1961) gestattet die Blatt-

analyse die Mineralstoffversorgung der Gehölze direkt zu erkennen, die Diagnose von Mangelsymptomen, eine bessere Beurteilung der Bodenversorgung, die Kontrolle der Düngungsmaßnahmen und eine Abschätzung der Düngewirkung. Ferner können mit ihrer Hilfe Einflüsse der Jahreswitterung, der Bodenpflegesysteme und des Behanges auf den Ernährungszustand der Pflanze erfaßt werden. GRUPPE (1961) nimmt an, daß mit zunehmender Intensivierung der Düngung die Blattanalyse für eine "Differential-Diagnose" zusammen mit den Bodenuntersuchungen an Bedeutung gewinnen wird.

Unter den Begriff "Blattanalyse" fällt auch die Analyse des Blattstieles, welcher sich nach Meinung zahlreicher Autoren besser zur Untersuchung eignet als das gesamte Blatt und gute Aussagen über den jeweiligen Ernährungszustand der Pflanze erlaubt. In speziellen Untersuchungen mit Reben konnten LARSEN et al. (1963) eine gute Übereinstimmung zwischen den Werten der Blattstiel-Analyse und den vorgenommenen Düngungsmaßnahmen feststellen. Nach ARCHIBALD (1956) besteht eine positive Korrelation zwischen Blattstiel-Kalium und Traubenertrag. Diese Tatsache wird von ULRICH (1942), LARSEN et al. (1955) und BERGMANN et al. (1959) bestätigt. In Versuchen von ULRICH (1942) mit Reben waren die Erträge in 3 aufeinanderfolgenden Vegetationsperioden direkt mit dem Kalium-Gehalt der Blattstiele, nicht aber mit den Werten der Bodenanalysen, korreliert. Der Kalium-Gehalt der Blattstiele reflektierte den Kalium-Ernährungszustand der Reben besser, als der Kalium-Gehalt der Blatt-Spreiten. Nach GRILL und SCHLOSSER (1966) sind Holzanalysen in der Aussage über den Ernährungszustand der Pflanze den Blattanalysen unterlegen. Wie DJABARIAN (1970) zeigt, weisen die Blattstiele höhere Kalium-Gehalte auf, als die Blattspreiten und besonders das Holz, so daß sie am ehesten in der Lage sind, eine unterschiedliche Kalium-Ernährung durch einen differenzierten Kalium-Gehalt widerzuspiegeln. Untersuchungen von ISMAIL et al. (1964) haben ergeben, daß auch die Rappen (Infloreszenzachsen) in gleicher Weise wie die Blattstiele geeignet sind als repräsentativer Maßstab für die Makronährstoffversorgung der Reben zu dienen.

Nach GRUPPE (1954 b) hängt der Blatt-Kalium-Gehalt von Obstbäumen ab von: der Bodenart und dem Bodenzustand, der Menge der aufnehmbaren Nährstoffe und ihren Relationen zueinander, den Niederschlägen und dem Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode, der Sorte und Unterlage, dem Alter und der Position der Blätter an der Pflanze, dem Zeitpunkt der Probeentnahme, dem Fruchtbehang und den Wechselwirkungen all dieser Faktoren. Infolgedessen ist es schwierig, die in der Literatur angegebenen Kalium-Grenzzahlen für die verschiedenen Versorgungszustände der Rebe mit den eigenen erhaltenen Werten zu vergleichen.

HERSCHLER (1933) berichtet, daß schlecht ernährte Reben einen Blatt-Kalium-Gehalt von weniger als 1 % in der Trockenmasse enthalten. BOYNTON (1958) nennt den gleichen kritischen Wert und empfiehlt, bei Kalium-Werten von  $<1$  % in der Blatt-Trocken-Masse im August bis September eine Kalium-Düngung vorzunehmen. In Untersuchungen von LARSEN (1955) wiesen ertragreiche Reben einen Kalium-Gehalt der Blattstiele von ca. 1,99 %, Mangelpflanzen einen solchen von nur 0,75 % K auf. Nach LARSEN (1956) treten keine Kalium-Mangelsymptome bei mehr als 1,55 % K, milde Mangelercheinungen bei ca. 0,99 % und schwere Schäden bei 0,35 % K im Blattstiel auf. GÄRTEL (1965) ermittelte bei gesunden Rebblättern einen Kalium-Gehalt von 1,2 - 1,5 % und gibt für Ende September (GÄRTEL 1959) einen Kalium-Gehalt im Blattstiel von 1,91 % K als minimalen, 2,26 % als optimalen und 2,66 % K als maximalen Wert an. LARSEN et al. (1955) halten hingegen schon 1,89 % K im Blattstiel für optimal. BECKER (1967) fand in 160 untersuchten Riesling-Parzellen des Rheingaus im September der Jahre 1965 und 1966 nur mittlere  $K_2O$ -Werte von 1,36 bzw. 1,54 %. Nach Angaben von WILHELM (1950) zu urteilen, ist der optimale Kalium-Gehalt der Rebsorten unterschiedlich.

Untersuchungen von WALLACE (1930, 1931) zufolge treten an Apfelbäumen Kalium-Mangelsymptome auf, wenn der Kalium-Gehalt in der Blatt-Trockenmasse unter 1 %  $K_2O$  absinkt. Nach GRUPPE (1961) gilt die Kalium-Versor-

gung von Apfelbäumen bei einem K-Gehalt in den Mittelblättern 1jähriger Langtriebe von  $<0,8\%$  als mangelhaft,  $0,9 - 1,5\%$  als niedrig,  $1,4 - 2,2\%$  als optimal und  $>1,8 - 2,3\%$  als hoch.

Vergleicht man mit diesen hier vorgestellten Werten für Äpfel die Ergebnisse der Blattstiel-Analysen der Reben des Versuches Worms-Abenheim (Tab. 15, Abb. 65), so zeigt sich, daß in der Behandlung A, d. h. bei Oberflächendüngung, der kritische Kalium-Spiegel von  $1\%$  K Tr. M. in allen Düngungsstufen während der 3 Versuchsjahre nie erreicht wurde ( $\bar{x}$  1967 - 1969 von  $K_1 = 0,70$ ,  $K_2 = 0,92$ ,  $K_3 = 0,95\%$  K). Die Kalium-Ernährung dieser Pflanzen ist daher nach GRUPPE (1961) als mangelhaft bis niedrig zu bezeichnen. Nach LARSEN (1956) wären diese Reben in den Bereich des milden bis schweren Mangels einzustufen.

Die Reben der Behandlung C weisen demgegenüber eine weit bessere Kalium-Ernährung auf. Die gesteigerte Kalium-Düngung hat in diesem Fall eine Differenzierung des Kalium-Gehaltes zwischen den Düngungsstufen hervorgerufen. Während die Reben der Düngungsstufe  $K_1$  noch nicht ausreichend mit Kalium ernährt erscheinen ( $\bar{x}$  1967 - 1969 =  $1,33\%$  K), kann man die Reben der mittleren Düngungsstufe als niedrig versorgt aber gesund bezeichnen ( $\bar{x}$  1967 - 1969 =  $1,48\%$  K), während die Blattstiele aus der Düngungsstufe  $K_3$  einen guten bis optimalen Kalium-Gehalt aufweisen ( $\bar{x}$  1967 - 1969 =  $1,96\%$  K). Diese positiv zu beurteilenden Kalium-Werte sind bis nach der Lese erhalten geblieben, obwohl während der Traubenausreife ein Teil des Kaliums der Blätter mit Sicherheit mobilisiert und in die Trauben verlagert wurde. Nach GRUPPE (1959) wird nämlich selbst bei einem Kalium-Gehalt der Blätter im September unter  $2\%$  immer noch Kalium aus den Blättern in die Früchte transportiert. BECKER (1970) fand sogar, daß ein hoher Traubenertrag mit einem niedrigen Kalium-Gehalt der Blätter korreliert sein kann. Diese Tatsache läßt sich nur mit der Mobilisierung des Blatt-Kaliums zugunsten des Trauben-Kaliums erklären.

Die Tatsache, daß in dem vorliegenden Versuch trotz eines höheren Ertrages der Behandlung C der Blatt-Kalium-Gehalt gegenüber den Reben der Behandlung A noch erhöht ist, zeigt ebenfalls die Überlegenheit der Kalium-Tiefendüngung gegenüber der Oberflächengabe.

Für den Kalium-Gehalt der Sproßachse gelten ähnliche Abstufungen zwischen den Behandlungen und Kalium-Düngungsstufen wie für den Blattstiel-Kalium-Gehalt. Allerdings ist der Kalium-Gehalt des Holzes geringer als derjenige der Blattstiele. DJABARIAN (1970) fand in seinen Untersuchungen an gesunden Riesling-Reben Anfang Oktober Kalium-Gehalte in der Sproßachse von 0,75 bzw. 0,70 % K in den Jahren 1967 und 1968. Nach GÄRTEL (1960) hat gesundes 1jähriges Holz einen Kalium-Gehalt von 0,73 % K Tr. M. nach GRILL und SCHLOSSER (1966) sind Holzanalysen den Blattanalysen in der Aussage über den Kalium-Ernährungszustand der Rebe unterlegen, da diese nach BERGMANN et al. (1958) Kalium bei geringem Nährstoffangebot im Boden zuerst im Holz anreichert, bei hohem hingegen in den Blattstielen. Eine ausreichende Kalium-Versorgung der Blattstiele erlaubt daher den Schluß auf eine ebenfalls gute Versorgung des Holzes, nicht jedoch generell auch umgekehrt. Vergleicht man nun die Mittelwerte der Versuchsjahre und Kalium-Düngungsstufen  $K_1$ ,  $K_2$  und  $K_3$  der Behandlung A von 0,60, 0,65 und 0,68 % K bzw. der Behandlung C von 0,83, 0,86 und 0,97 % K mit den oben angeführten Werten, so ergibt sich in Behandlung A eine nicht ganz ausreichende, in C jedoch eine gute Kalium-Versorgung des Holzes.

Für die Reben des Versuchsstandortes Essingen bietet sich ein anderes Bild. Wie Abbildung 66 zeigt, unterscheiden sich die Kalium-Gehalte von Blattstiel und Sproßachse der Behandlungen und Düngungsstufen nicht eindeutig voneinander. Das erreichte Kalium-Niveau im Blattstiel überschreitet 1969, bei allerdings sehr schlechtem Ertrag, den 1 %-Wert beträchtlich. Die Kalium-Werte liegen zwischen 1,32 und 1,55 % K und sind somit den von BECKER (1967) gefundenen Werten vergleichbar. 1968 war der Kalium-Gehalt der Blattstiele geringer und bewegte sich zwischen 0,63 und 0,79 %

K Tr. M. Er muß als unzureichend bezeichnet werden.

Die Kalium-Gehalte des Holzes weisen diese großen Unterschiede zwischen den Jahren nicht auf. Obwohl auch hier 1969 der Kalium-Gehalt mit 0,66 bis 0,69 % K etwas höher ist als 1968, wo lediglich 0,51 bis 0,59 % K vorhanden sind. Diese Werte erreichen nicht ganz die geforderte Höhe von ca. 0,70 bis 0,75 % K und die Reben müssen daher als nicht ausreichend mit Kalium versorgt angesehen werden.

Die im Falle des Versuches Essingen im Vergleich mit Worms-Abenheim unterbliebene Differenzierung in den Kalium-Werten der Behandlungen und Düngungsstufen kann nicht ohne weiteres erklärt werden, da die Anlage des Depotstreifens sehr wohl zu einem verbesserten Kalium-Angebot im Unterboden geführt hat. Es muß daher angenommen werden, daß die abnormalen Witterungsverhältnisse, welche den Reben beträchtliche Schäden zufügten, die positiven Wirkungen der Kalium-Düngung überdeckten.

### 3.3. Einfluß einer hohen Kalium-Düngung auf das Wurzelwachstum und die Entwicklung von Reben unterschiedlichen Alters im Gefäßversuch

#### 3.3.1. Material und Methoden

##### Stecklingsreben \*)

Am 20. 1. 1967 wurden Reiser der Rebsorte Müller-Thurgau und der Unterlagen SO 4 und 5 BB in 2-Augenstecklinge zerlegt und die Augen am unteren Knoten geblendet. Nach dem Auslesen der zu kleinen und zu großen Stecklinge waren je Sorte ca. 500 Stück vorhanden. Diese wurden zur Botritis-Be-

---

\*) Herrn Professor Dr. H. BECKER, Direktor des Instituts für Rebenzüchtung und Rebenveredlung der Hessischen Lehr- und Forschungsanstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau, Geisenheim, sei an dieser Stelle für die Überlassung des benötigten Steckholzes und dessen Anzucht im Gewächshaus vielmals gedankt.

kämpfung 2 Stunden in 0,5 %iger Chinosol-W-Lösung eingeweicht, im Kühlhaus gelagert und am 3. 3. 1967 im Gewächshaus in ein geheiztes Torf-Sand-Beet (28 - 30°C) gesteckt (BECKER 1960). Nach 20-tägiger Vortreibzeit wurden die 200 in Kallus- und Wurzelbildung bzw. Austrieb gleichmäßigsten Stecklinge aussortiert, in Wasser gereinigt und in gewaschenen Rheinsand in 70 mm Multitöpfe eingepflanzt. Nach 2monatiger Weiterkultur in diesem Substrat besaßen die Pflanzen einen gut ausgebildeten Wurzelballen. Dieser wurde durch Auswaschen von allem Sand befreit und die Pflanzen einer weiteren Auslese auf Gleichmäßigkeit von Bewurzelung und Trieb unterzogen.

Als Versuchsboden wurde, ebenso wie für die Untersuchungen zur vertikalen Beweglichkeit des Kaliums, Unterboden des Feldversuchsstandortes Essingen gewählt. Die Bodenkennwerte sind der Tabelle 14 zu entnehmen. Die Versuchsvarianten umfaßten die Kalium-Düngungsstufen 0, 12, 5, 25, 50, 100, 200 und 400 mg  $K_2O/100$  g Boden jeweils in 12facher Wiederholung. Der Boden wurde nach dem Mörsern und Absieben < 2,0 mm in Portionen von 500 g Trockensubstanz abgewogen und, wie bereits unter 3.1.1. beschrieben, unter Hinzufügung der jeweils benötigten  $K_2SO_4$ -Lösungsmenge und einer  $P_2O_5$ -Düngung von 10 mg/100 g Boden in Form von  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$  eingesprützt und "aggregiert". Zwecks Feuchtigkeitsausgleichs und Einwirkung des Kaliums wurde der fertige Boden noch 8 Tage in Plastikbeuteln gelagert.

Als Gefäße fanden 12er Kunststofftöpfe Verwendung. Sie wurden mit einer 1 cm dicken Schicht von grobem Quarzsand und sodann kegelförmig bis zur Hälfte mit dem vorbereiteten Boden gefüllt. Nach dem Verteilen der Rebwurzeln über diesen Kegel wurde weiterer Boden zugegeben. Nach 14 Tagen Anwuchszeit im Gewächshaus erfolgte die Aufstellung der Stecklinge nach dem in Abbildung 68 gezeigten Plan unter einem Glasdach. Destilliertes Wasser erhielten sie nach Bedarf von oben. Nachdem bis zum 29. 6. 1967 keine Auswirkungen der gesteigerten Kalium-Düngung auf die Blatt- und Triebentwicklung der Stecklinge verzeichnet werden konnten, erhielten diese eine Düngung von 60 mg N/100 g Boden in Form einer  $Ca(NO_3)_2 \cdot 4 H_2O$ -Lösung. Am 11. 9. 1967 wurde der Versuch beendet, der Boden aus den Wurzelballen ausgewaschen, die Pflanzen in Wurzel, Stamm, Trieb und Blatt zerlegt, bei 105°C 24 Std. getrocknet und die Trockengewichte bestimmt. Sodann erfolgte die Varianzanalytische Verrechnung der erhaltenen Werte.

Abbildung 68

Aufstellungsplan für die Kalium-Düngungsstufen und Wiederholungen des Gefäßversuches mit Stecklingsreben der Sorten Müller-Thurgau, SO4 und 5 BB

|   |   |   |   |   |   |   |      |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|------|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | M-Th | 3 | 4 | 7 | 6 | 2 | 5 | 1 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | SO 4 | 3 | 4 | 7 | 6 | 2 | 5 | 1 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 5 BB | 3 | 4 | 7 | 6 | 2 | 5 | 1 |
| 6 | 7 | 5 | 1 | 3 | 4 | 2 | 5 BB | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 6 | 7 | 5 | 1 | 3 | 4 | 2 | M-Th | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 6 | 7 | 5 | 1 | 3 | 4 | 2 | SO 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2 | 3 | 6 | 7 | 4 | 1 | 5 | SO 4 | 6 | 7 | 5 | 1 | 3 | 4 | 2 |
| 2 | 3 | 6 | 7 | 4 | 1 | 5 | 5 BB | 6 | 7 | 5 | 1 | 3 | 4 | 2 |
| 2 | 3 | 6 | 7 | 4 | 1 | 5 | M-Th | 6 | 7 | 5 | 1 | 3 | 4 | 2 |
| 4 | 5 | 1 | 2 | 6 | 7 | 3 | M-Th | 2 | 3 | 6 | 7 | 4 | 1 | 5 |
| 4 | 5 | 1 | 2 | 6 | 7 | 3 | SO 4 | 2 | 3 | 6 | 7 | 4 | 1 | 5 |
| 4 | 5 | 1 | 2 | 6 | 7 | 3 | 5 BB | 2 | 3 | 6 | 7 | 4 | 1 | 5 |
| 5 | 6 | 4 | 3 | 7 | 2 | 1 | 5 BB | 4 | 5 | 1 | 2 | 6 | 7 | 3 |
| 5 | 6 | 4 | 3 | 7 | 2 | 1 | M-Th | 4 | 5 | 1 | 2 | 6 | 7 | 3 |
| 5 | 6 | 4 | 3 | 7 | 2 | 1 | SO 4 | 4 | 5 | 1 | 2 | 6 | 7 | 3 |
| 7 | 1 | 2 | 5 | 6 | 3 | 4 | SO 4 | 5 | 6 | 4 | 3 | 7 | 2 | 1 |
| 7 | 1 | 2 | 5 | 6 | 3 | 4 | 5 BB | 5 | 6 | 4 | 3 | 7 | 2 | 1 |
| 7 | 1 | 2 | 5 | 6 | 3 | 4 | M-Th | 5 | 6 | 4 | 3 | 7 | 2 | 1 |

1 = 0; 2 = 12, 5; 3 = 25; 4 = 50; 5 = 100; 6 = 200; 7 = 400 mg  $K_2O$ /100 g Boden

Abbildung 69

Aufstellungsplan für die Kalium-Düngungsstufen und Wiederholungen des Gefäßversuches mit Pfropfreben der Sorte Müller-Thurgau auf den Unterlagen SO 4 und 5 BB

|   |   |   |   |   |   |      |
|---|---|---|---|---|---|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 5 BB |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | SO 4 |
| 6 | 4 | 5 | 2 | 3 | 1 | SO 4 |
| 6 | 4 | 5 | 2 | 3 | 1 | 5 BB |
| 5 | 3 | 6 | 1 | 4 | 2 | 5 BB |
| 5 | 3 | 6 | 1 | 4 | 2 | SO 4 |
| 4 | 1 | 2 | 3 | 6 | 5 | SO 4 |
| 4 | 1 | 2 | 3 | 6 | 5 | 5 BB |
| 2 | 6 | 4 | 5 | 1 | 3 | 5 BB |
| 2 | 6 | 4 | 5 | 1 | 3 | SO 4 |

1 = 0; 2 = 25; 3 = 50; 4 = 100; 5 = 200; 6 = 400 mg  $K_2O/100$  g Boden

#### Pfropfreben

Die benötigten Pfropfreben der Sorte Müller-Thurgau auf den Unterlagen SO 4 und 5 BB wurden Anfang Februar 1967 bezogen und im Einschlag aufbewahrt. Am 6. 4. 1967 erfolgte die Pflanzung nach der Methode des geteilten Wurzelsystems (Abb. 70). Dazu wurden Kunststofftöpfe (13 x 13 cm) mit einem Fassungsvermögen von 1,5 kg Boden verwendet. Indem der Topfrand einer Seite entfernt wurde, konnten jeweils 2 Töpfe mit Draht verbunden werden. Nach Ausstattung der Töpfe mit Scherben und Quarzsand und Befüllung mit etwas - ebenso wie für die Stecklingsreben aufbereitetem - Essinger Unterboden wurden nun die Pfropfreben auf die vertiefte gemeinsame Kante beider Töpfe gesetzt. Dabei wurden die auf 10 cm Länge eingekürzten Wurzeln gleichmäßig nach beiden Seiten verteilt und weiterer Boden nachgefüllt. Der eine Topf erhielt jeweils ungedüngten, der andere gedüngten Boden. Die Kalium-Düngungsstufen betrugen 0, 25, 50, 100, 200 und 400 mg  $K_2O/100$  g Boden in 5facher Wiederholung. Den eingepflanzten Reben wurde eine 24 cm lange Kartonage übergestülpt, welche mit feuchtem Torf gefüllt wurde, um ein Austrocknen der Pflanzen zu verhindern und das Anwachsen zu erleichtern. Sie wurden zunächst bis nach den Eisheiligen im ungeheizten Gewächshaus kultiviert und später unter einem Glasdach nach dem in Abbildung 69 wiedergegebenen Versuchsplan aufgestellt. Die Wasserversorgung wurde nach Bedarf mit destilliertem Wasser von oben vorgenommen. Dabei verschlammte der Boden oberflächlich etwas, blieb

## Geteiltes Wurzelsystem

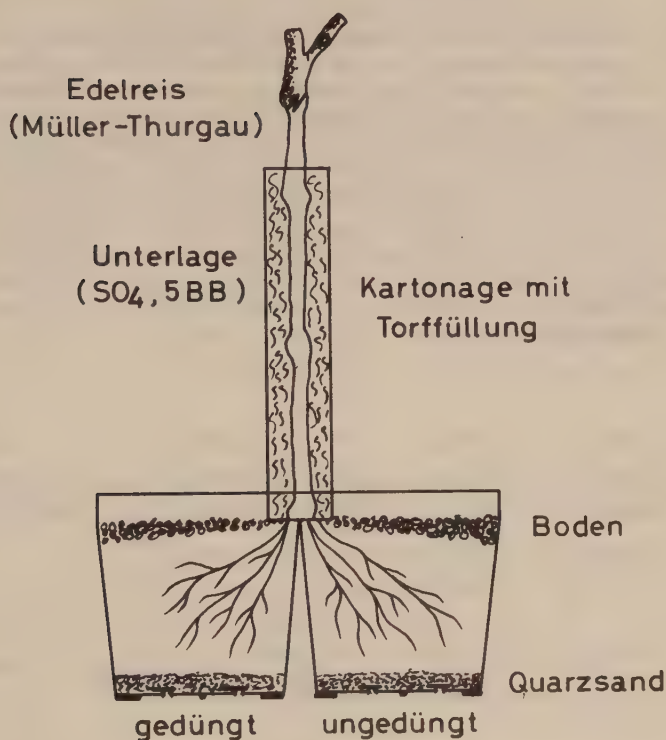


Abbildung 70

jedoch im übrigen gut aggregiert. Nachdem bis dahin an den Reben weder in der Blattfarbe noch in der Blattgröße und im Trieb Unterschiede feststellbar waren und die Blätter der Pflanzen aller Kalium-Düngungsstufen einen Stickstoffmangel erkennen ließen, erfolgte am 8. 7. 1967 eine Düngung mit 60 mg N/100 g Boden in Form von  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Die Ernte der Versuchspflanzen und die Zerlegung in ihre Organe wurde am 21. 9. 1967 vorgenommen. Neben der Feststellung der Trockengewichte erfolgte die analytische Bestimmung des Kalium- und Magnesiumgehaltes eines jeden Pflanzenorgans, sowie die Errechnung der Gesamtaufnahme von Kalium und Magnesium. Die Ergebnisse wurden varianzanalytisch verrechnet.

### Topfreben

Die Pflanzen wurden im Februar bezogen und im Einschlag aufbewahrt. Am 15. 5. 1967 erfolgte die Pflanzung in 5 l-Kunststoffeimer. Die hierzu benötigten 4 kg Essinger Unterboden (Trockensubstanz) waren wie zu den Stecklingsreben vorbereitet und mit 0, 100, 200 und 400 mg  $K_2O/100$  g Boden abgedüngt worden. Der Wurzelballen der Reben wurde unbeschädigt in den Boden eingebettet. Nach der Pflanzung erhielten die Reben eine torfgefüllte Kartonage zum Schutze des Stämmchens. Die Kalium-Düngungsstufen wurden in 5facher Wiederholung angesetzt und nach Abbildung 71 unter einem Glasdach aufgestellt. Die Wasserversorgung und Stickstoffdüngung erfolgte wie zu den Stecklingsreben. Die Entwicklung der Pflanzen wurde 3 Jahre beobachtet, der jährliche Zuwachs geerntet und dessen Trockensubstanzgewicht, Kalium-Gehalt und Kalium-Aufnahme bestimmt und die Ergebnisse varianzanalytisch verrechnet.

Abbildung 71

Aufstellungsplan für die Kalium-Düngungsstufen und Wiederholungen des Gefäßversuches mit Topfreben der Sorte Ruländer auf der Unterlage 26 G

|   |   |   |   |                               |
|---|---|---|---|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |                               |
| 3 | 4 | 1 | 2 |                               |
| 2 | 1 | 4 | 3 | 1 = 0                         |
| 4 | 3 | 2 | 1 | 2 = 100                       |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 3 = 200                       |
|   |   |   |   | 4 = 400 mg $K_2O/100$ g Boden |

### Pflanzenanalyse

Zur Anfertigung der Analyse auf Kalium und Magnesium wurden die bei  $105^{\circ}C$  getrockneten Pflanzenorgane pulverisiert. Von jeder Probe wurden 2 Analysen angefertigt und diese, falls Abweichungen auftraten, wiederholt. Für die Aschenanalyse wurden 500 mg Trockensubstanz in einen Porzellantiegel eingewogen und bei  $500^{\circ}C$  verascht. Die abgekühlte Asche wurde mit einigen Tropfen destillierten Wassers angefeuchtet, mit 5 ml 2,5 n-HCl übergossen und nahezu bis zum Kochen erhitzt. Anschließend wurde durch ein Schwarzbänderfilter in einen 50 ml Meßkolben filtriert und der Tiegel mit 5 ml 2,5 n HCl ausgespült. Sodann wurden Tiegel und Filter mit destilliertem Wasser nachgewaschen und der Kolben bis zur Marke aufgefüllt.

Tabelle 16

Varianzanalyse: Pfropfreben (geteiltes Wurzelsystem) Kalium-  
gehalt der gedüngten und ungedüngten Wurzeln  
(in % K Tr. M.)

| Faktor                           | SQ      | FG               | MQ     | F-Wert   |       |
|----------------------------------|---------|------------------|--------|----------|-------|
| Gesamt <sup>+</sup>              | 13,9116 | 119 <sup>1</sup> |        |          |       |
| Fehler                           | 2,5859  | 92 <sup>1</sup>  | 0,0281 |          |       |
| Wiederholungen                   | 0,3152  | 4 <sup>1</sup>   | 0,0788 | 2,8034   | n. s. |
| 1 <sup>1</sup>                   | 2,9079  | 1 <sup>1</sup>   | 2,9079 | 103,4546 | ++    |
| 2 <sup>1</sup>                   | 0,5993  | 1 <sup>1</sup>   | 0,5993 | 21,3200  | ++    |
| 3 <sup>1</sup>                   | 5,6508  | 5 <sup>1</sup>   | 1,1302 | 40,2086  | ++    |
| WW 1 <sup>1</sup> 2 <sup>1</sup> | 0,0056  | 1 <sup>1</sup>   | 0,0056 | 0,1994   | n. s. |
| WW 1 <sup>1</sup> 3 <sup>1</sup> | 1,1727  | 5 <sup>1</sup>   | 0,2345 | 8,3443   | ++    |
| WW 2 <sup>1</sup> 3 <sup>1</sup> | 0,4651  | 5 <sup>1</sup>   | 0,0930 | 3,3092   | ++    |
| Rest                             | 0,2092  | 5 <sup>1</sup>   | 0,0418 | 1,4868   |       |

+ Gesamtfaktoren: 2 Organe x 2 Sorten x 6 Kalium-Düngungsstufen  
x 5 Wiederholungen = 120 - 1 = 119 Freiheitsgrade

1<sup>1</sup> 2 Organe (gedüngte und ungedüngte Wurzeln)

2<sup>1</sup> 2 Sorten (Pfropfkombination Müller-Thurgau/SO 4 und  
Müller-Thurgau/5 BB)

3<sup>1</sup> 6 Kalium-Düngungsstufen von 0, 25, 50, 100, 200 und 400 mg K<sub>2</sub>O pro  
100 g Boden

WW bedeutet Wechselwirkungen zwischen 1<sup>1</sup>, 2<sup>1</sup> und 3<sup>1</sup>

Tabelle 17

Trockengewichte (in g Tr. M.) der Stecklinge der Rebsorten SO 4, 5 BB und Müller-Thurgau zu Versuchsbeginn

| Sorte     | Kalium-Düngungsstufen (in mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden) |      |     |     |     |     |     | $\bar{x}$ |
|-----------|------------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
|           | 0                                                          | 12,5 | 25  | 50  | 100 | 200 | 400 |           |
| SO 4      | 5,2                                                        | 5,4  | 5,4 | 5,2 | 5,6 | 5,4 | 5,6 | 5,4       |
| 5 BB      | 6,3                                                        | 6,4  | 6,4 | 6,8 | 6,5 | 6,8 | 6,4 | 6,5       |
| M-Th      | 5,7                                                        | 5,3  | 5,8 | 5,8 | 6,0 | 6,2 | 5,8 | 5,8       |
| $\bar{x}$ | 5,7                                                        | 5,7  | 5,9 | 5,9 | 6,0 | 6,1 | 5,9 | 5,9       |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. n. s. Sorten 0, 2

Tabelle 18

Einfluß der Kalium-Düngung auf den Gesamtzuwachs (in g Tr. M.) der Stecklinge der Rebsorten SO 4, 5 BB und Müller-Thurgau

| Sorte     | Kalium-Düngungsstufen (in mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden) |      |     |      |     |     |     | $\bar{x}$ |
|-----------|------------------------------------------------------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----------|
|           | 0                                                          | 12,5 | 25  | 50   | 100 | 200 | 400 |           |
| SO 4      | 9,3                                                        | 8,8  | 8,0 | 10,0 | 9,5 | 9,1 | 9,6 | 9,2       |
| 5 BB      | 6,8                                                        | 9,8  | 8,4 | 8,6  | 9,2 | 8,7 | 8,1 | 8,6       |
| M-Th      | 6,6                                                        | 6,0  | 7,0 | 5,8  | 6,6 | 7,4 | 6,0 | 6,5       |
| $\bar{x}$ | 7,6                                                        | 8,2  | 7,8 | 8,2  | 8,5 | 8,5 | 8,0 | 8,1       |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. n. s. Sorten 0, 9

Tabelle 19

Einfluß der Kalium-Düngung auf die Organ-Trockengewichte (in g Tr.M.) der Stecklinge der Rebsorten SO 4, 5 BB und Müller-Thurgau

| Organ<br>Sorte    | Kalium-Düngungsstufen (in mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden) |      |     |     |     |     |     | $\bar{x}$ |
|-------------------|------------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
|                   | 0                                                          | 12,5 | 25  | 50  | 100 | 200 | 400 |           |
| <u>Sproßachse</u> |                                                            |      |     |     |     |     |     |           |
| SO 4              | 1,3                                                        | 1,2  | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2       |
| 5 BB              | 1,0                                                        | 1,3  | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 1,0       |
| M-Th              | 0,7                                                        | 0,8  | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,7       |
| $\bar{x}$         | 1,0                                                        | 1,1  | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 1,0       |

ges. Diff. p = 5 % zw. : K-Düngungsst. n. s. Sorten 0, 1

Blatt

|           |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| SO 4      | 5,3 | 5,3 | 5,1 | 5,7 | 5,7 | 5,4 | 5,5 | 5,4 |
| 5 BB      | 3,9 | 4,9 | 4,8 | 4,2 | 4,9 | 4,7 | 4,6 | 4,6 |
| M-Th      | 2,5 | 2,4 | 2,4 | 2,2 | 2,6 | 2,7 | 2,3 | 2,4 |
| $\bar{x}$ | 3,9 | 4,1 | 4,0 | 4,0 | 4,4 | 4,3 | 4,1 | 4,1 |

ges. Diff. p = 5 % zw. : K-Düngungsst. n. s. Sorten 0, 2

Stamm

|           |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| SO 4      | 5,7 | 5,5 | 5,2 | 5,6 | 5,8 | 5,7 | 6,3 | 5,7 |
| 5 BB      | 5,9 | 7,3 | 6,4 | 7,5 | 6,5 | 6,8 | 6,4 | 6,7 |
| M-Th      | 4,8 | 4,1 | 5,3 | 4,5 | 4,8 | 5,1 | 4,6 | 4,7 |
| $\bar{x}$ | 5,5 | 5,0 | 5,6 | 5,9 | 5,7 | 5,9 | 5,8 | 5,7 |

ges. Diff. p = 5 % zw. : K-Düngungsst. n. s. Sorten 1, 0

Wurzel

|           |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| SO 4      | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 2,7 | 2,5 | 2,3 | 2,3 | 2,3 |
| 5 BB      | 2,3 | 2,7 | 2,5 | 2,7 | 3,2 | 3,1 | 2,6 | 2,7 |
| M-Th      | 4,3 | 4,0 | 4,4 | 4,1 | 4,5 | 5,0 | 4,2 | 4,4 |
| $\bar{x}$ | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,2 | 3,1 | 3,5 | 3,0 | 3,5 |

ges. Diff. p = 5 % zw. : K-Düngungsst. 0, 4 Sorten 0, 3

Die Messung von Kalium erfolgte mit dem Eppendorf-Flammenphotometer, während Magnesium mit dem Atom-Absorptions-Spektrometer gemessen wurde.

### Statistische Auswertung

Die varianzanalytische Verrechnung der gewonnenen Untersuchungsdaten erfolgte durch die Abteilung für Biometrie<sup>\*</sup> der Landwirtschaftlichen Fakultät der Justus Liebig-Universität Gießen. Als Beispiel der erhaltenen Rechenergebnisse sei die Varianztabelle für den Kalium-Gehalt in der Trockenmasse der gedüngten und ungedüngten Wurzeln des Gefäßversuches mit Pfropfreben unter Anwendung der Methode des geteilten Wurzelsystems angeführt (Tab. 16).

#### 3. 3. 2. Stecklingsreben

Die Versuche mit Stecklingsreben haben übereinstimmend sowohl bei der Rebsorte Müller-Thurgau als auch bei den beiden verwendeten Unterlagensorten SO 4 und 5 BB keine signifikanten Trockengewichtsunterschiede zwischen den Kalium-Düngungsstufen erbracht (Tab. 19, 18). Während zu Versuchsbeginn (Tab. 17) zwischen den Pflanzen der Kalium-Düngungsstufen keine gesicherten Unterschiede im Gesamttrockengewicht bestehen, haben sich auch zu Versuchsende gesicherte Differenzen noch nicht herausgebildet, obwohl der Kalium-Gehalt des Bodens durch die gesteigerte Düngung stark variiert wurde (Tab. 20, siehe ebenso Abb. 79). Auch der Trockengewichtszuwachs während der Versuchsdauer läßt, ebenso wie die Trockengewichte der einzelnen Organe Sproßachse, Blatt und Stamm, keine signifikanten Auswirkungen der Kalium-Düngung erkennen. Lediglich die Wurzeltrockengewichte der unterschiedlich gedüngten Reben weisen gesicherte Unterschiede auf. Eine Interpretation ist jedoch erschwert, da eine klare Tendenz nicht erkennbar wird.

---

<sup>\*</sup>) Herrn Dr. MÜLLER und seiner Mitarbeiterin Frau WEISS sei für die erwiesene Hilfe vielmals gedankt.

Tabelle 20

Laktat-Kalium-Gehalt des Gefäßversuch-Bodens in Abhängigkeit von der Kalium-Düngung (in mg  $K_2O/100$  g Boden)

|               | Kalium-Düngung |      |    |    |     |     |     |
|---------------|----------------|------|----|----|-----|-----|-----|
|               | 0              | 12,5 | 25 | 50 | 100 | 200 | 400 |
| Kalium-Gehalt | 9              | 11   | 13 | 20 | 36  | 76  | 193 |

Eindeutig läßt sich hingegen für das Durchschnittsergebnis der drei verwendeten Sorten sagen, daß die gesteigerte Kalium-Düngung keine negativen Auswirkungen auf die Wurzelentwicklung der Stecklinge ausgeübt hat.

Aufgrund der sortentypischen Internodienlänge wiesen die Stecklingspflanzen der Versuchssorten bereits zu Versuchsbeginn gesichert unterschiedliche Pflanzentrockengewichte auf. Diese Unterschiede sind auch zu Versuchsende für die Gesamtpflanze und ihre Organe gegeben. Besonders auffällig ist das gegenüber den Unterlagsreben sehr stark entwickelte Wurzelsystem der Sorte Müller-Thurgau.

### 3. 3. 3. Pfropfreben

Die Verrechnung des durchschnittlichen Trockengewichtes der Pfropfreben zu Versuchsbeginn hat ergeben, daß weder zwischen den Kalium-Düngungsstufen noch zwischen den beiden Unterlagsorten gesicherte Gewichts differenzen bestehen. Das Versuchsmaterial darf daher als homogen bezeichnet werden. Analog zu den Stecklingsreben können auch bei den Pfropfreben keine gesicherten Unterschiede im Trockengewicht von Sproßachse, Blatt, der gedüngten Wurzel und ungedüngten Wurzel zwischen den Kalium-Düngungsstufen ermittelt werden (Tab. 21). Eine Wechselwirkung zwischen den gedüngten und ungedüngten Wurzeln besteht hinsichtlich des Trockengewichtes nicht. Zwischen den Sorten haben sich jedoch bei allen Organen und

Tabelle 21

Einfluß der Kalium-Düngung auf die Organ-Trockengewichte (in g Tr.M.) von Müller-Thurgau-Reben auf den Unterlagen SO 4 und 5 BB bei Anwendung der Methode des geteilten Wurzelsystems

| <u>Organ</u><br>Sorte | Kalium-Düngungsstufen (in mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden) |     |     |     |     |     | $\bar{x}$ |
|-----------------------|------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
|                       | 0                                                          | 25  | 50  | 100 | 200 | 400 |           |
| <u>Sproßachse</u>     |                                                            |     |     |     |     |     |           |
| SO 4                  | 4,7                                                        | 5,9 | 5,5 | 5,5 | 5,1 | 7,5 | 5,7       |
| 5 BB                  | 7,4                                                        | 6,3 | 7,3 | 7,2 | 7,8 | 6,8 | 7,1       |
| $\bar{x}$             | 6,1                                                        | 6,1 | 6,4 | 6,4 | 6,5 | 7,2 | 6,4       |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw.: K-Düngungsst. n. s. Sorten 0, 6

Blatt

|           |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| SO 4      | 11,2 | 13,0 | 12,3 | 11,1 | 11,1 | 14,8 | 12,8 |
| 5 BB      | 15,7 | 14,5 | 15,8 | 15,6 | 14,2 | 12,8 | 14,8 |
| $\bar{x}$ | 13,5 | 13,8 | 14,1 | 13,4 | 12,7 | 13,8 | 13,5 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw.: K-Düngungsst. n. s. Sorten 1, 2

Wurzel gedüngt

|           |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| SO 4      | 4,3 | 4,9 | 4,9 | 7,5 | 5,9 | 6,2 | 5,6 |
| 5 BB      | 4,7 | 3,8 | 4,3 | 4,8 | 5,2 | 5,0 | 5,1 |
| $\bar{x}$ | 4,5 | 4,4 | 4,6 | 6,2 | 5,6 | 5,6 | 5,4 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw.: K-Düngungsst. n. s. Sorten 0, 9

Wurzel ungedüngt

|           |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| SO 4      | 4,4 | 5,5 | 3,8 | 5,4 | 4,7 | 7,1 | 5,2 |
| 5 BB      | 4,7 | 3,5 | 3,9 | 4,5 | 4,2 | 4,0 | 4,1 |
| $\bar{x}$ | 4,6 | 4,5 | 3,9 | 5,0 | 4,5 | 5,6 | 4,7 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw.: K-Düngungsst. n. s. Sorten 1, 2

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw.: Wurzel gedüngt u. Wurzel ungedüngt n. s.

Tabelle 22

Einfluß der Kalium-Düngung (in mg  $K_2O/100$  g Boden) auf den Kalium-Gehalt (in % K Tr. M.) der Organe von Müller-Thurgau-Reben auf den Unterlagen SO 4 und 5 BB bei Anwendung der Methode des geteilten Wurzelsystems.

| Organ             | Kalium-Düngungsstufen (in mg $K_2O/100$ g Boden) |      |      |      |      |      | $\bar{x}$ |
|-------------------|--------------------------------------------------|------|------|------|------|------|-----------|
| Sorte             | 0                                                | 25   | 50   | 100  | 200  | 400  |           |
| <u>Sproßachse</u> |                                                  |      |      |      |      |      |           |
| SO 4              | 0,97                                             | 1,04 | 1,34 | 1,35 | 1,32 | 1,38 | 1,23      |
| 5 BB              | 0,67                                             | 0,91 | 0,89 | 1,10 | 1,20 | 1,32 | 1,01      |
| $\bar{x}$         | 0,82                                             | 0,97 | 1,11 | 1,22 | 1,30 | 1,35 | 1,12      |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 0,12 Sorten 0,07

Blatt

|           |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| SO 4      | 0,60 | 0,70 | 0,93 | 1,12 | 1,26 | 1,43 | 1,01 |
| 5 BB      | 0,40 | 0,57 | 0,65 | 0,89 | 1,03 | 1,32 | 0,81 |
| $\bar{x}$ | 0,50 | 0,63 | 0,79 | 1,00 | 1,14 | 1,37 | 0,91 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 0,09 Sorten 0,05

Wurzel gedüngt

|           |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| SO 4      | 0,60 | 0,80 | 1,02 | 1,41 | 1,44 | 1,33 | 1,10 |
| 5 BB      | 0,48 | 0,71 | 0,81 | 0,92 | 1,21 | 1,53 | 0,94 |
| $\bar{x}$ | 0,54 | 0,75 | 0,91 | 1,16 | 1,32 | 1,43 | 1,02 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 0,18 Sorten 0,11

Wurzel ungedüngt

|           |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| SO 4      | 0,59 | 0,68 | 0,70 | 0,85 | 0,92 | 0,90 | 0,77 |
| 5 BB      | 0,45 | 0,57 | 0,61 | 0,67 | 0,72 | 0,85 | 0,64 |
| $\bar{x}$ | 0,52 | 0,62 | 0,65 | 0,76 | 0,82 | 0,87 | 0,70 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 0,11 Sorten 0,07

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : Wurzel gedüngt u. Wurzel ungedüngt 0,06

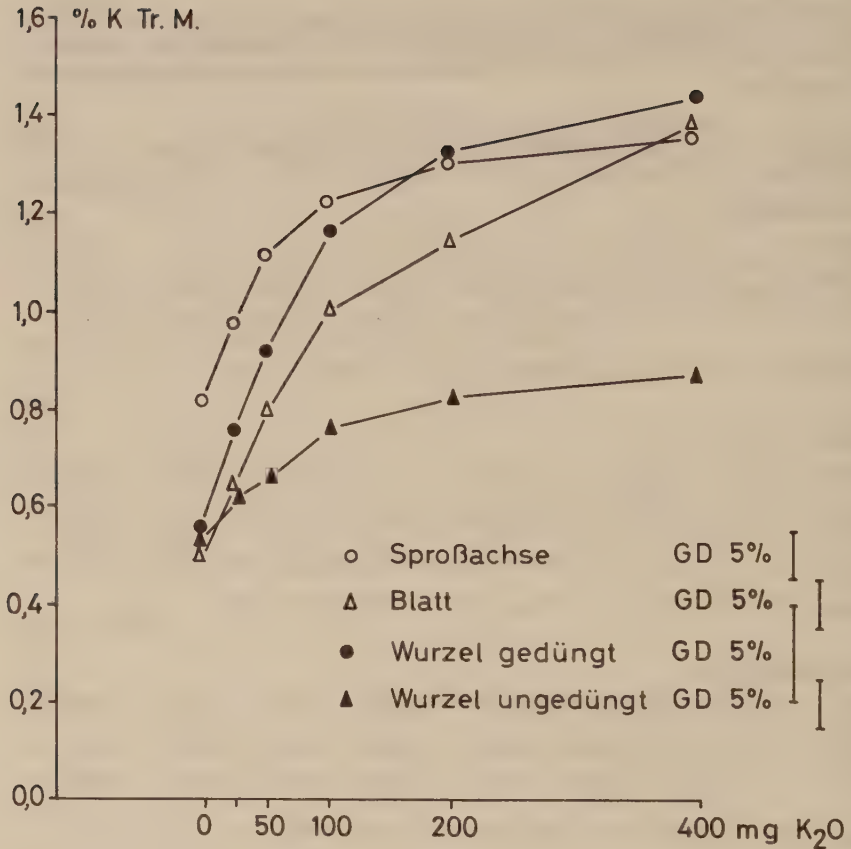


Abbildung 72

Einfluß der Kalium-Düngung (in mg  $K_2O/100$  g Boden) auf den Kalium-Gehalt (in % K Tr. M.) der Organe von Müller-Thurgau-Reben ( $\bar{x}$  der Pfropfkombinationen M-Th/SO 4 und M-Th/5 BB) bei Anwendung der Methode des geteilten Wurzelsystems

GD 5 % = ges. Diff.  $p = 5$  % zwischen den Kalium-Düngungsstufen

Kalium-Düngungsstufen signifikante Gewichtsunterschiede herausgebildet. Da der Boden der Düngungsstufen mit zunehmender Kalium-Versorgung steigende Laktat-Kalium-Werte aufweist, die Pflanze auf dieses gesteigerte Kalium-Angebot jedoch nicht mit einer vermehrten Trockensubstanzproduktion reagiert, erscheint es wahrscheinlich, daß die verbesserte Kalium-Versorgung zumindest eine erhöhte Kalium-Aufnahme der Pflanze zur Folge hat. Aus diesem Grunde wurden die Pflanzenorgane Sproßachse, Blatt, gedüngte Wurzel und ungedüngte Wurzel auf ihren Kalium-Gehalt untersucht. Die varianzanalytisch verrechneten Ergebnisse liegen in Tabelle 22 vor. Sie zeigen bei allen Pflanzenorganen eine signifikante Abhängigkeit ihres Kalium-Gehaltes von der Düngung. Der Kalium-Gehalt der pflanzlichen Organe nimmt mit steigender Kalium-Gabe in Form einer Sättigungskurve zu. Die Tatsache, daß diese Feststellung auch für die jeweils im ungedüngten Boden stehende Wurzelhälfte, wenn auch in abgeschwächtem Umfang, zutrifft, bedeutet, daß dieser Wurzelteil von den im gedüngten Boden wachsenden Wurzeln auf dem Umweg über den Sproß zusätzlich mit Kalium versorgt worden sein muß.

Neben den signifikanten Unterschieden bei allen Pflanzenorganen zwischen den Kalium-Düngungsstufen bestehen ebensolche zwischen den Sorten. Auch die Unterschiede im Kalium-Gehalt zwischen den gedüngten und ungedüngten Wurzeln sind gesichert. Die graphische Darstellung des durchschnittlichen Kalium-Gehaltes beider Pfropfkombinationen von Sproßachse, Blatt und den Wurzeln findet sich in der Abbildung 72.

Neben dem Kalium-Gehalt der Rebpflanzen ist auch deren Gehalt an dem sich antagonistisch zu Kalium verhaltenden Nährstoff Magnesium von Interesse und für den Weinbau bedeutungsvoll. So wurde auch der prozentuale Magnesiumgehalt in der Trockensubstanz der Pflanzenorgane bestimmt. Die verrechneten Magnesiumwerte sind in Tabelle 23 aufgeführt. Es ergab sich für alle Pflanzenorgane ebenfalls eine gesicherte Abhängigkeit des Magne-

Tabelle 23

Einfluß der Kalium-Düngung (in mg  $K_2O/100$  g Boden) auf den Magnesium-Gehalt (in % Mg Tr.M.) der Organe von Müller-Thurgau-Reben auf den Unterlagen SO 4 und 5 BB bei Anwendung der Methode des geteilten Wurzelsystems.

| <u>Organ</u>      | Kalium-Düngungsstufen (in mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden) |      |      |      |      |      | $\bar{x}$ |
|-------------------|------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|-----------|
| <u>Sorte</u>      | 0                                                          | 25   | 50   | 100  | 200  | 400  |           |
| <u>Sproßachse</u> |                                                            |      |      |      |      |      |           |
| SO 4              | 0,11                                                       | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,08      |
| 5 BB              | 0,10                                                       | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,08      |
| $\bar{x}$         | 0,11                                                       | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,08      |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 0,01 Sorten n. s.

Blatt

|           |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| SO 4      | 0,31 | 0,25 | 0,22 | 0,19 | 0,18 | 0,16 | 0,22 |
| 5 BB      | 0,32 | 0,26 | 0,23 | 0,21 | 0,20 | 0,20 | 0,24 |
| $\bar{x}$ | 0,32 | 0,26 | 0,23 | 0,20 | 0,19 | 0,18 | 0,23 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 0,03 Sorten 0,02

Wurzel gedüngt

|           |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| SO 4      | 0,26 | 0,22 | 0,21 | 0,15 | 0,13 | 0,14 | 0,19 |
| 5 BB      | 0,25 | 0,19 | 0,16 | 0,14 | 0,11 | 0,11 | 0,16 |
| $\bar{x}$ | 0,26 | 0,21 | 0,19 | 0,15 | 0,12 | 0,13 | 0,18 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 0,04 Sorten n. s.

Wurzel ungedüngt

|           |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| SO 4      | 0,27 | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,22 | 0,22 | 0,25 |
| 5 BB      | 0,26 | 0,25 | 0,24 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,21 |
| $\bar{x}$ | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,22 | 0,20 | 0,20 | 0,23 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 0,05 Sorten 0,03

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : Wurzel gedüngt u. Wurzel ungedüngt 0,02

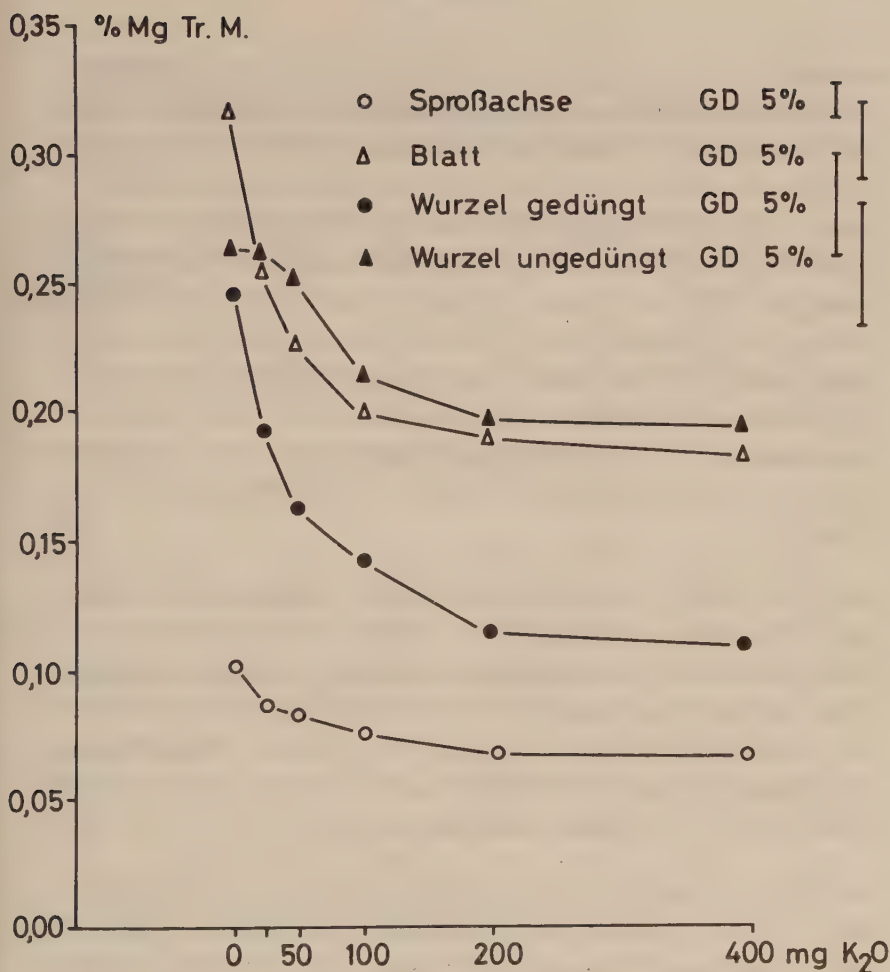


Abbildung 73

Einfluß der Kalium-Düngung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) auf den Magnesium - Gehalt (in % Mg Tr. M.) der Organe von Müller-Thurgau-Reben (x der Pfropfkombinationen M-Th/SO 4 und M-Th/5 BB) bei Anwendung der Methode des geteilten Wurzelsystems

GD 5 % = ges. Diff. p = 5 % zwischen den Kalium-Düngungsstufen

siumgehaltes von der vorgenommenen Kalium-Düngung, und zwar nimmt der Magnesiumgehalt im Pflanzengewebe spiegelbildlich zum ansteigenden Kalium-Gehalt ab. Besonders ausgeprägt ist die Magnesiumabnahme im Blatt und der gedüngten Wurzel, weniger stark, in der Tendenz aber noch deutlich erkennbar, in der Sproßachse und der ungedüngten Wurzel. Während die bei den erstgenannten Organe auch signifikante Sortenunterschiede aufweisen, lassen sich solche bei letzteren nicht sichern. Zwischen den entsprechenden gedüngten und ungedüngten Wurzeln bestehen signifikante Unterschiede im Magnesiumgehalt. Die gedüngten Wurzeln weisen infolge ihres erhöhten Kalium-Gehaltes einen verminderten Magnesiumgehalt auf. Die Kurven des im Pflanzengewebe mit steigender Kalium-Düngung abnehmenden Magnesiumgehaltes sind in der Abbildung 73 als Mittelwerte beider Pfropfkombinationen dargestellt.

Neben dem Kalium- und Magnesiumgehalt in der Trockenmasse der Pflanzenorgane ist auch die in Abhängigkeit von der gesteigerten Kalium-Düngung insgesamt aufgenommene Nährstoffmenge von Interesse. Diese läßt sich rechnerisch aus dem prozentualen Nährstoffgehalte des Pflanzengewebes und dessen Trockengewicht ermitteln. Die aufgenommene absolute Nährstoffmenge ist für die Beurteilung der Düngerwirkung ebenso wichtig wie die durch diese Maßnahme in der Pflanze erzielte Konzentration.

Der Einfluß der gesteigerten Kalium-Düngung auf die Kalium-Aufnahme der Reben ist in der Tabelle 24 und der Abbildung 74 wiedergegeben. Beide zeigen, daß analog zum Anstieg des Kalium-Gehaltes in den Pflanzenorganen mit zunehmender Düngung auch die Kalium-Aufnahme ansteigt, da, wie bereits erwähnt, die Düngung keinen gesicherten Einfluß auf die Stoffbildung auszuüben vermochte. Daher gelten für die Kalium-Aufnahme die bereits für den Kalium-Gehalt getroffenen Aussagen.

Für die Magnesium-Aufnahme gilt Ähnliches wie für die Kalium-Aufnahme (Tab. 25, Abb. 75). Auch sie weist die gleiche Tendenz wie der Magnesium-

Tabelle 24

Einfluß der Kalium-Düngung (in mg  $K_2O/100$  g Boden) auf die Kalium-Aufnahme (in mg K) der Organe von Müller-Thurgau-Reben auf den Unterlagen SO 4 und 5 BB bei Anwendung der Methode des geteilten Wurzelsystems.

| Organ             | Kalium-Düngungsstufen (in mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden) |    |    |     |     |     | $\bar{x}$ |
|-------------------|------------------------------------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----------|
| Sorte             | 0                                                          | 25 | 50 | 100 | 200 | 400 |           |
| <u>Sproßachse</u> |                                                            |    |    |     |     |     |           |
| SO 4              | 45                                                         | 61 | 74 | 74  | 68  | 103 | 71        |
| 5 BB              | 48                                                         | 56 | 66 | 78  | 73  | 90  | 69        |
| $\bar{x}$         | 47                                                         | 59 | 70 | 76  | 71  | 97  | 70        |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 12 Sorten n. s.

|              |    |    |     |     |     |     |     |
|--------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <u>Blatt</u> |    |    |     |     |     |     |     |
| SO 4         | 66 | 91 | 115 | 126 | 140 | 212 | 125 |
| 5 BB         | 63 | 82 | 102 | 138 | 147 | 170 | 117 |
| $\bar{x}$    | 65 | 87 | 109 | 132 | 144 | 191 | 121 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 20 Sorten n. s.

|                       |    |    |    |     |    |    |    |
|-----------------------|----|----|----|-----|----|----|----|
| <u>Wurzel gedüngt</u> |    |    |    |     |    |    |    |
| SO 4                  | 25 | 41 | 52 | 104 | 84 | 82 | 65 |
| 5 BB                  | 22 | 18 | 37 | 45  | 64 | 78 | 44 |
| $\bar{x}$             | 24 | 30 | 45 | 75  | 74 | 80 | 55 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 21 Sorten 13

|                         |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| <u>Wurzel ungedüngt</u> |    |    |    |    |    |    |    |
| SO 4                    | 26 | 47 | 27 | 44 | 43 | 62 | 40 |
| 5 BB                    | 22 | 20 | 24 | 29 | 30 | 34 | 27 |
| $\bar{x}$               | 24 | 29 | 26 | 37 | 37 | 48 | 34 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 9 Sorten 6

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : Wurzel gedüngt u. Wurzel ungedüngt 7

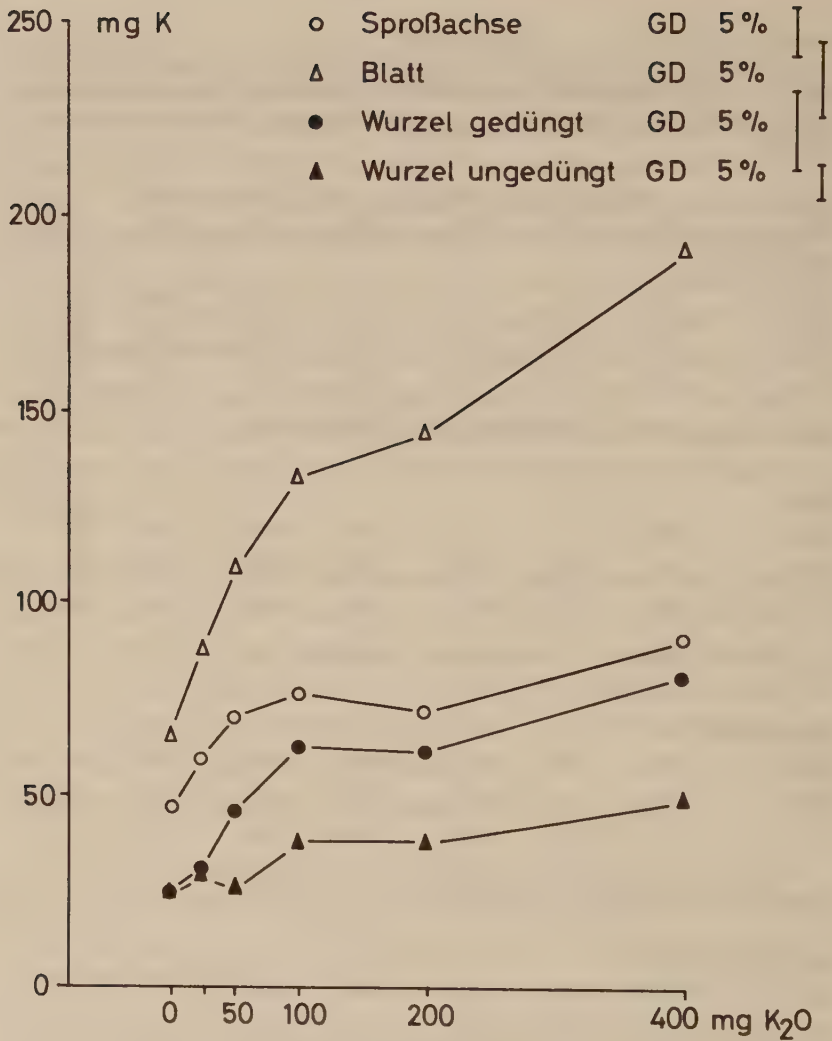


Abbildung 74

Einfluß der Kalium-Düngung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) auf die Kalium-Aufnahme (in mg K) der Organe von Müller-Thurgau-Reben ( $\bar{x}$  der Pfropfkombinationen M-Th/SO<sub>4</sub> und M-Th/5 BB) bei Anwendung der Methode des geteilten Wurzelsystems

GD 5 % = ges. Diff. p = 5 % zwischen den Kalium-Düngungsstufen

Tabelle 25

Einfluß der Kalium-Düngung (in mg  $K_2O/100$  g Boden) auf die Magnesium-Aufnahme (in mg Mg) der Organe von Müller-Thurgau-Reben auf den Unterlagen SO 4 und 5 BB bei Anwendung der Methode des geteilten Wurzelsystems.

| <u>Organ</u><br><u>Sorte</u> | Kalium-Düngungsstufen (in mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden) |     |     |     |     |     | $\bar{x}$ |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
|                              | 0                                                          | 25  | 50  | 100 | 200 | 400 |           |
| <u>Sproßachse</u>            |                                                            |     |     |     |     |     |           |
| SO 4                         | 7,0                                                        | 5,2 | 5,9 | 7,0 | 5,1 | 4,5 | 5,8       |
| 5 BB                         | 4,8                                                        | 5,2 | 4,6 | 4,1 | 3,5 | 5,0 | 4,5       |
| $\bar{x}$                    | 5,9                                                        | 5,2 | 5,3 | 5,6 | 4,3 | 4,8 | 5,2       |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. n. s. Sorten 0,6

|              |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| <u>Blatt</u> |      |      |      |      |      |      |      |
| SO 4         | 34,4 | 32,9 | 26,9 | 21,7 | 19,6 | 23,8 | 26,6 |
| 5 BB         | 51,4 | 37,7 | 36,1 | 32,7 | 29,0 | 25,7 | 35,4 |
| $\bar{x}$    | 42,9 | 35,3 | 31,5 | 27,2 | 24,3 | 24,8 | 31,0 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 2,5 Sorten 2,9

|                       |      |      |      |      |     |     |     |
|-----------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| <u>Wurzel gedüngt</u> |      |      |      |      |     |     |     |
| SO 4                  | 11,2 | 10,3 | 10,1 | 10,6 | 8,2 | 8,1 | 9,8 |
| 5 BB                  | 11,4 | 7,0  | 6,5  | 6,5  | 5,8 | 5,6 | 7,1 |
| $\bar{x}$             | 11,3 | 8,7  | 8,3  | 8,6  | 7,0 | 6,9 | 8,5 |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 3,0 Sorten 1,9

|                         |      |      |      |      |     |      |      |
|-------------------------|------|------|------|------|-----|------|------|
| <u>Wurzel ungedüngt</u> |      |      |      |      |     |      |      |
| SO 4                    | 11,8 | 10,7 | 10,8 | 11,5 | 9,8 | 15,7 | 11,7 |
| 5 BB                    | 11,9 | 6,4  | 9,1  | 8,2  | 7,0 | 6,6  | 8,2  |
| $\bar{x}$               | 11,9 | 8,6  | 10,0 | 9,9  | 7,9 | 11,2 | 9,9  |

ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. : K-Düngungsst. 2,9 Sorten 1,8

Ges. Diff.  $p = 5\%$  zw. Wurzel gedüngt u. Wurzel ungedüngt 1,2

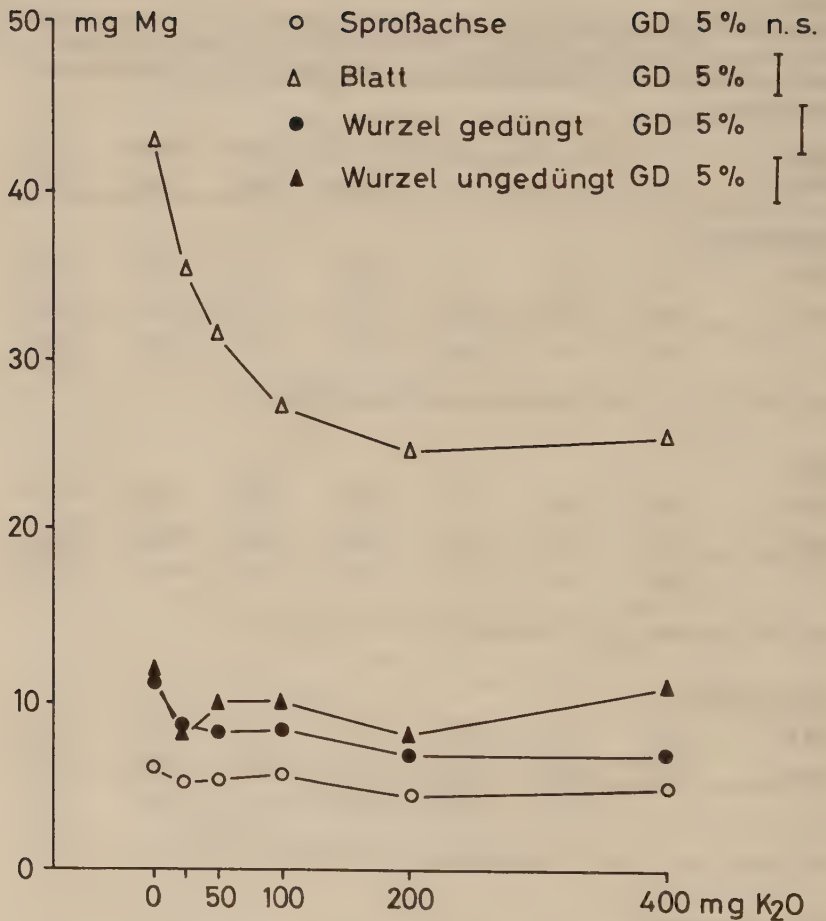


Abbildung 75

Einfluß der Kalium-Düngung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) auf die Magnesium-Aufnahme (in mg Mg) der Organe von Müller-Thurgau-Reben ( $\bar{x}$  der Pfropfkombinationen M-Th/SO 4 und M-Th/5 BB) bei Anwendung der Methode des geteilten Wurzelsystems

GD 5 % = ges. Diff.  $p = 5 \%$  zwischen den Kalium-Düngungsstufen

Tabelle 26

Einfluß der Kalium-Düngung (in mg  $K_2O/100$  g Boden) auf Trockengewicht (in g Tr.M.), Kium-Gehalt (in % K Tr.M.) und Kalium-Aufnahme (in mg K) der Organe von Ruländer-Topfreben

| Kalium-Düngungs-<br>stufen<br>(in mg K <sub>2</sub> O/<br>100 g Boden) | Trockengewicht<br>(in g Tr.M.) |       |       | Kalium-Gehalt<br>(in % K Tr.M.) |       | Kalium-Aufnahme<br>(in mg K) |       |       |      |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|---------------------------------|-------|------------------------------|-------|-------|------|
|                                                                        | Sproß-<br>achse                | Blatt | Sproß | Sproß<br>achse                  | Blatt | Sproß-<br>achse              | Blatt | Sproß |      |
| 23.10.<br>1967                                                         | 0                              | 27,7  | 33,2  | 60,9                            | 0,51  | 0,66                         | 141   | 217   | 358  |
|                                                                        | 100                            | 28,8  | 35,6  | 64,4                            | 0,83  | 0,99                         | 240   | 352   | 592  |
|                                                                        | 200                            | 29,2  | 36,9  | 66,1                            | 0,90  | 1,71                         | 263   | 632   | 895  |
|                                                                        | 400                            | 34,2  | 40,0  | 74,2                            | 1,24  | 2,03                         | 422   | 814   | 1236 |
|                                                                        | GD <sup>+</sup>                | 4,5   | 2,3   | 6,8                             | 0,08  | 0,19                         | 46    | 66    | 94   |
| 7.10.<br>1968                                                          | 0                              | 16,0  | 11,1  | 27,1                            | 0,38  | 0,52                         | 65    | 60    | 125  |
|                                                                        | 100                            | 13,9  | 16,6  | 30,5                            | 0,51  | 0,73                         | 70    | 121   | 191  |
|                                                                        | 200                            | 20,7  | 19,0  | 39,7                            | 0,85  | 1,73                         | 178   | 331   | 509  |
|                                                                        | 400                            | 22,9  | 17,1  | 40,0                            | 1,24  | 2,01                         | 303   | 339   | 642  |
|                                                                        | GD                             | 5,3   | 3,2   | 7,7                             | 0,14  | 0,35                         | 68    | 74    | 134  |
| 30.7.<br>1969                                                          | 0                              | 6,7   | 9,0   | 15,7                            | 0,52  | 0,47                         | 35    | 42    | 77   |
|                                                                        | 100                            | 6,1   | 10,6  | 16,7                            | 0,98  | 1,09                         | 60    | 115   | 175  |
|                                                                        | 200                            | 9,3   | 13,7  | 23,0                            | 1,42  | 1,85                         | 132   | 254   | 386  |
|                                                                        | 400                            | 12,7  | 14,7  | 27,4                            | 1,81  | 2,34                         | 230   | 341   | 571  |
|                                                                        | GD                             | 1,3   | 2,0   | 3,0                             | 0,11  | 0,19                         | 15    | 25    | 39   |

<sup>+</sup> GD = ges. Diff. p = 5 %

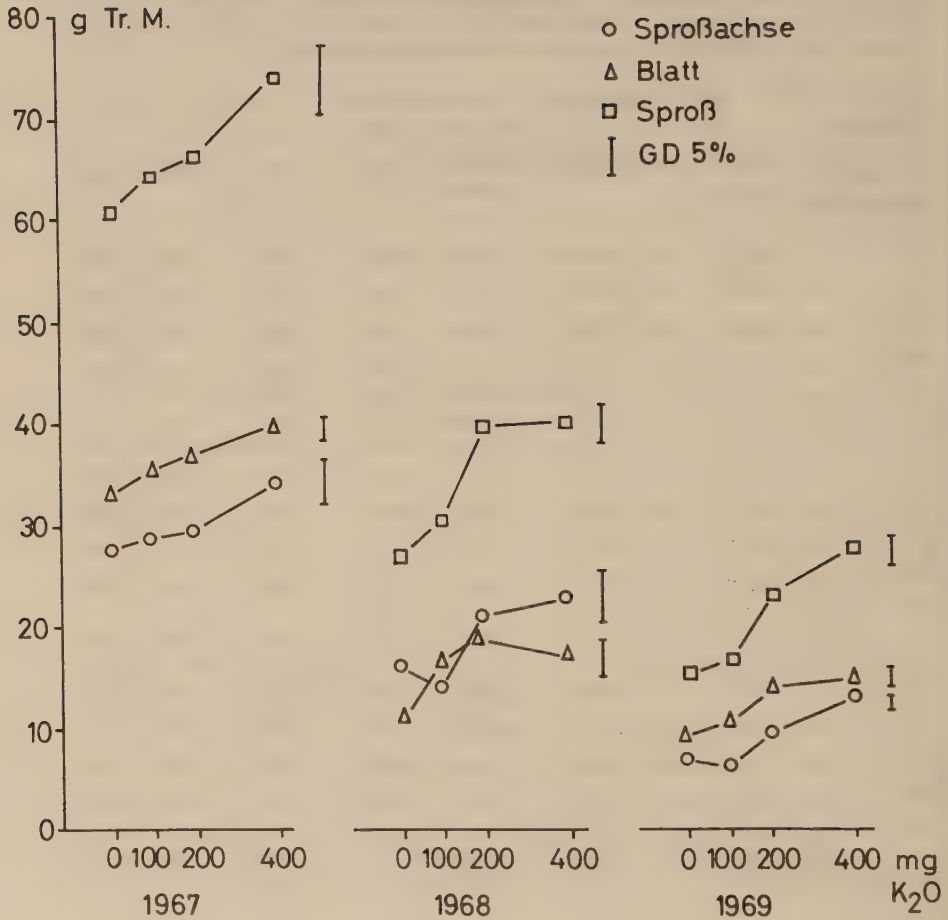


Abbildung 76

Einfluß der Kalium-Düngung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) auf das Trockengewicht (in g Tr. M.) der Organe von Ruländer-Topfreben in den Jahren 1967, 1968 und 1969

GD 5 % = ges. Diff. p = 5 % zwischen den Kalium-Düngungsstufen

Gehalt auf, denn mit zunehmender Kalium-Düngung sinkt die aufgenommene Magnesiummenge beim Blatt sehr deutlich ab, während die Verhältnisse für die Sproßachse und die Wurzeln weniger klar sind. Zwischen den gedüngten und den ungedüngten Wurzeln besteht ein signifikanter Unterschied. Die ungedüngten Wurzeln weisen einen höheren Magnesiumgehalt auf als die mit Kalium gedüngten.

### 3. 3. 4. Topfreben

Da es möglich erschien, daß die jungen Rebpflanzen evtl. durch die hohen Kalium-Gaben geschädigt würden, fanden in einem weiteren Versuch auch in 12er Töpfe mit Torfsubstrat getopfte Pfropfreben der Sorte Ruländer auf der Unterlage 26 G Verwendung. Diese Reben hatten bereits eine Vegetationszeit in diesen Töpfen hinter sich und besaßen daher einen sehr gut ausgebildeten, festen Wurzelballen. Damit waren Anwuchsprobleme ausgeschlossen und eine größere Resistenz der Reben ungünstigen Substrateinflüssen gegenüber war zu erwarten.

Infolge der verwendeten größeren Kulturgefäße konnten die Reben 3 Jahre lang beobachtet und die Organe Sproßachse und Blatt sowie deren Summe der Sproß erfaßt werden. Von diesen Organen wurden Trockengewicht, prozentualer Kalium-Gehalt und die Kalium-Aufnahme ermittelt und die erhaltenen Werte varianzanalytisch verrechnet.

Da die Erntezeitpunkte verschieden waren und die Pflanzen im Laufe des Versuches immer älter wurden, die erhaltenen Werte also nicht direkt vergleichbar sind, mußten die Ergebnisse nach Jahren getrennt verrechnet werden. Sie wurden in Tabelle 26 zusammengefaßt.

Die Betrachtung der Trockengewichte der Organe Sproßachse, Blatt und des Sprosses (Abb. 76) ergibt in allen Fällen gesicherte Unterschiede zwi-

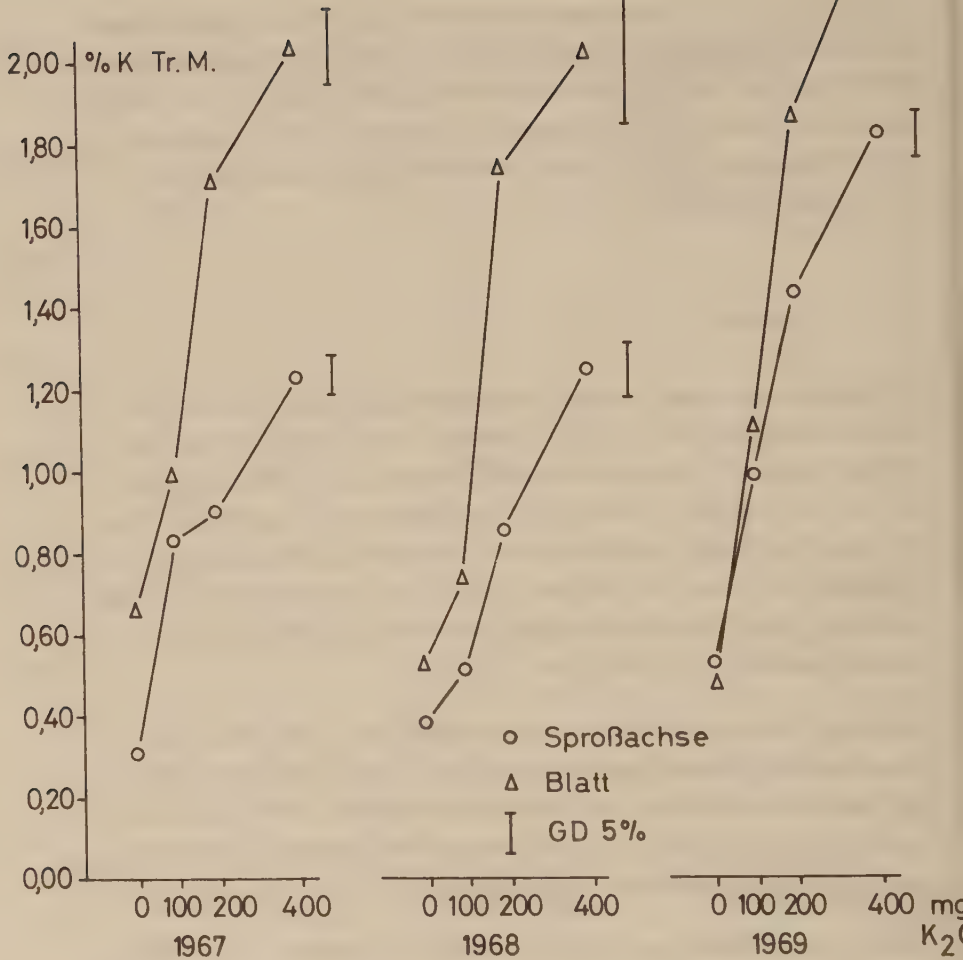


Abbildung 77

Einfluß der Kalium-Düngung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) auf den K a l i u m - G e h a l t (in % K Tr. M.) der Organe von Ruländer-Topfreben in den Jahren 1967, 1968 und 1969

GD 5 % = ges. Diff. p = 5 % zwischen den Kalium-Düngungsstufen

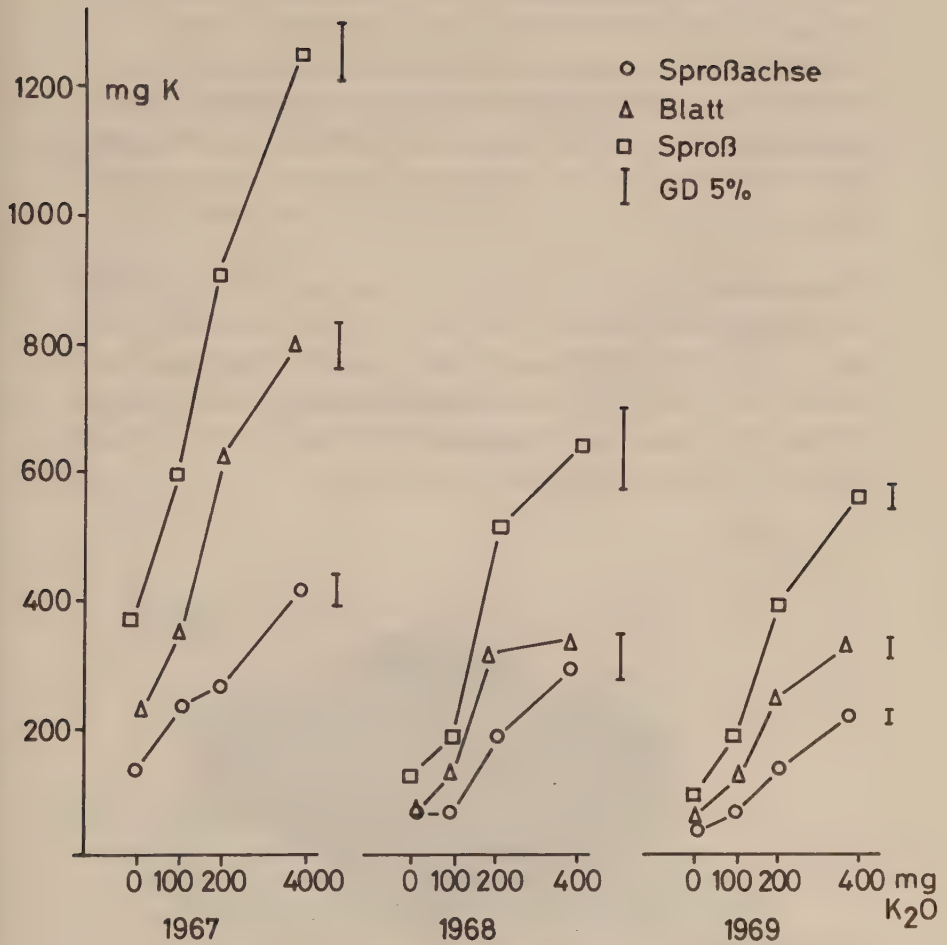


Abbildung 78

Einfluß der Kalium-Düngung (in mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) auf die Kalium-Aufnahme (in mg K) der Organe von Ruländer-Topfreben in den Jahren 1967, 1968 und 1969

GD 5 % = ges. Diff.  $p = 5 \%$  zwischen den Kalium-Düngungsstufen

schen den Kalium-Steigerungsstufen. Das Trockengewicht nimmt mit steigender Kalium-Düngung leicht zu. Ebenfalls erhöht sich für alle Organe mit gesteigerter Düngung sowohl der prozentuale Kalium-Gehalt (Abb. 77) als auch die Kalium-Aufnahme (Abb. 78) signifikant. Die Entwicklung der Wurzeln konnte in diesem Versuch nicht überprüft werden, da eine Trennung von Wurzeln und Torf im stark verfilzten Topfballen unmöglich war.

Die angewandte Methode der Bodenvorbereitung durch Einsprühen mit der Kalium-Düngerlösung und Rollen hat sich in den Gefäßversuchen bewährt. Zwar erfordert die Aufbereitung viel Zeit, sie gewährleistet jedoch eine homogene Nährstoffverteilung und gute Struktur des Versuchsbodens. In den drei Jahre andauernden Gefäßversuchen mit Topfreben blieb die perl-förmige Bodenstruktur vollständig erhalten (Abb. 80).



Abbildung 80

Durch Einsprühen mit Wasser und Rollen perlförmig aggregierter Boden nach 3jährigem Verbleib in einem Kulturgefäß (Gefäßversuch mit Topfreben)

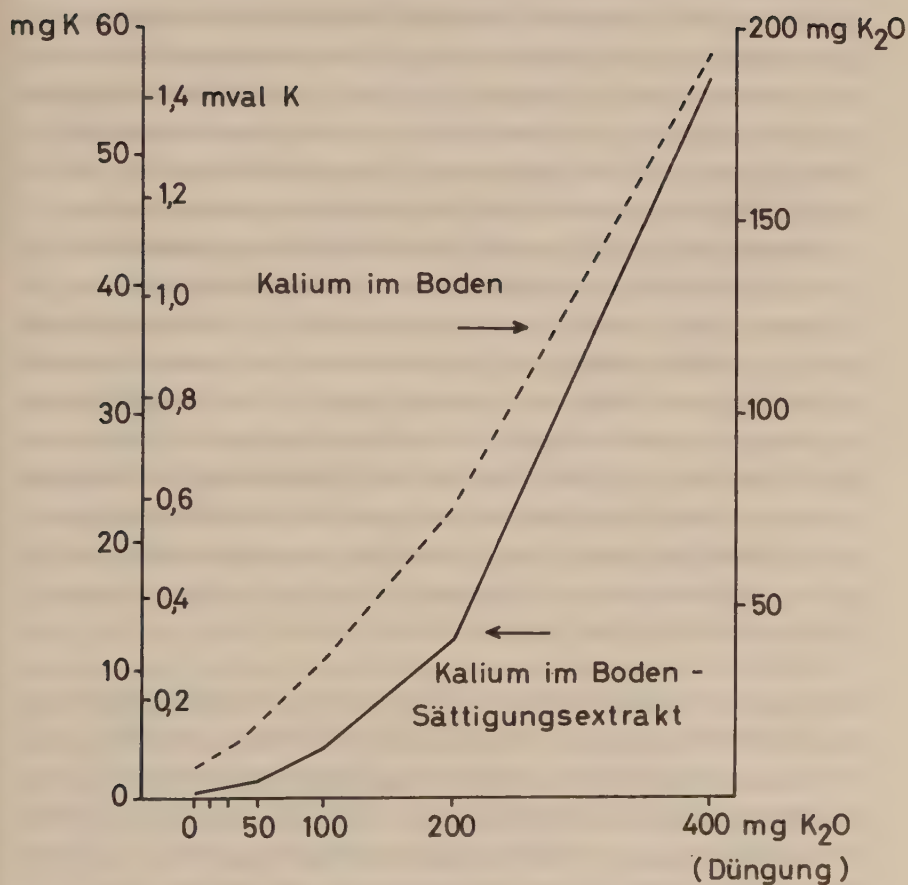


Abbildung 79

Laktat-Kalium-Gehalt des Gefäßversuch-Bodens (in mg  $K_2O$ /100 g) und Kalium-Konzentration des Bodensättigungsextraktes (in mg bzw. mval K/100 ml) in Abhängigkeit von der Kalium-Düngung (in mg  $K_2O$ /100 g Boden)

### 3. 3. 5. Konzentration der Bodenlösung

Nach NEMETH et al. (1970) ist für die Nährstoffversorgung einer Pflanze die Konzentration der Bodenlösung von entscheidender Bedeutung. Aus diesem Grunde schien es auch von Interesse, die Konzentration der Bodensättigungslösung des in den Gefäßversuchen verwendeten Bodens der verschiedenen Kalium-Düngungsstufen zu analysieren. Für die Untersuchungen nach der von NEMETH (1969) beschriebenen Methodik stand im November 1969 seit dem Ansetzen der Gefäßversuche feucht aufbewahrter Boden der Kalium-Düngungsstufen 0, 50, 100, 200 und 400 mg  $K_2O/100$  g Boden noch in genügender Menge zur Verfügung. Die erhaltenen Werte, dargestellt in Abb. 79, weisen eine progressive Zunahme der Kalium-Konzentration der Bodensättigungslösung nach. Hierbei laufen die Kurven für das laktatverfügbare Kalium und für die Kalium-Konzentration der Bodenlösung nicht parallel. Vielmehr steigen im unteren Düngungsbereich die Gehalte des Bodens an Laktat-Kalium stärker an, als die Kalium-Konzentration der Bodenlösung. Dies ist ein Zeichen dafür, daß das Kalium mit steigender Düngung zunehmend in leicht austauschbarer Form gebunden wird. Die Selektivität der Kalium-Bindung nimmt dementsprechend mit fortschreitender Kalium-Absättigung der Tonminerale ab. Dieser Befund deckt sich mit den Ergebnissen von NEMETH et al. (1970).

Die durch die Düngung von 400 mg  $K_2O/100$  g Boden verursachte Konzentration der Bodenlösung von 56 mg K = 1,43 mval K/100 ml ist absolut hoch und es erscheint bedeutungsvoll, daß die Reben eine solche Konzentration ohne nachweisliche Beeinträchtigungen ihrer Entwicklung zu ertragen vermochten. Im Gegenteil wies die höchstgedüngte Variante mit einer Anfangs-K-Konzentration von 14,3 mval/l im Bodensättigungsextrakt das beste Wachstum auf (Tab. 25).

### 3. 3. 6. Besprechung

Die Gefäßversuche mit Reben unterschiedlichen Alters haben übereinstimmend ergeben, daß die Reben hohe Kalium-Düngergaben vertragen können. Der durch diese hervorgerufene starke Anstieg des Laktat-Kalium-Gehaltes und der Konzentration der Bodensättigungslösung hat die Wurzeln nicht geschädigt. Wurzelgewicht, -verteilung im Boden und -habitus wurden durch die Kalium-Düngung nicht negativ verändert und somit die Potenz der Wurzel, Wasser und andere Nährstoffe aufzunehmen, nicht verringert. Lediglich der Ionenantagonismus zwischen Kalium und Magnesium (BUCHER 1957, SCHARRE und MENGEL 1958, GRUPPE 1961, GÄRTEL 1962) führte mit der erhöhten Kalium-Aufnahme zu einer beträchtlichen Verminderung des Magnesium-Gehaltes der Pflanzengewebe und der absolut aufgenommenen Magnesium-Menge. Analoge Resultate erhielten LARSEN (1956) und LARSEN et al. (1963). In ihren Versuchen erniedrigte eine alleinige Kalium-Düngung auf kalium-, calcium- und magnesiumarmem Boden den Magnesium-Gehalt der Blattstiele von Concord-Reben bei Erhöhung ihres Kalium-Gehaltes. Durch eine zusätzliche Magnesium-Düngung zur Kalium-Gabe ließ sich der Magnesium-Gehalt der Blattstiele erhöhen. Eine negative hochsignifikante Korrelation bestand zwischen Blattstiel-Kalium und Blattstiel-Magnesium, jedoch keine positive solche zwischen Boden-Magnesium und Blattstiel-Magnesium. Dies bedeutet, daß der depressive Effekt des Kaliums auf den Magnesium-Gehalt des Blattstiels stärker ist, als der fördernde Einfluß der Magnesium-Düngung. Nach GRUPPE (1961, 1965) bringt eine erhöhte Kalium-Versorgung mit der Steigerung der Kalium-Gehalte in den Blättern gleichzeitig eine Herabsetzung von Magnesium und Calcium mit sich und umgekehrt. Ein Magnesium-Mangel im Blatt kann gleichbedeutend sein mit Magnesium-Mangel im Boden oder aber mit genug Magnesium im Boden, aber zuviel Kalium im Blatt.

Diese Tatsache gibt daher besondere Veranlassung, bei der Behebung von

Kalium-Mangelzuständen auch die Magnesium-Versorgung mit zu untersuchen und bei der Düngung zu berücksichtigen. Die Anwendung von Kalimagnesia erscheint in solchen Fällen bei gleichzeitigem Magnesium-Bedarf die einfachste Lösung (BEETZ 1967).

Die im Gefäßversuch an den Reben getestete Maximalmenge von 400 mg  $K_2O/100$  g Boden entspricht bei der Anlage eines Depotstreifens im Feld der Düngergabe von 3120 kg  $K_2O$  pro ha, einer sehr hohen Gabe. Wenn eine solche Düngung eine Rebe bei intensivster Durchwurzelung ihres Standraumes im Jugendstadium ohne den Kalium absorbierenden Traubenertrag nicht zu schädigen vermag, so ist dies in der Praxis bei erwachsenen Pflanzen, deren Kalium-Haushalt durch den Ertrag belastet wird, bei Anwendung von geringeren Kalium-Gaben in einem Teilbereich ihres Wurzelsystems, dem Depotstreifen, weit weniger zu erwarten.

Wie aus der russischen Literatur (KRYLATOW 1962, KIRIENKO 1963, GOROSKO 1969 et al.) bekannt ist, vermögen Reben relativ hohe Salzkonzentrationen im Boden und hohe osmotische Werte der Bodenlösung zu ertragen.

Selbst wenn in Versuchen von KIRIENKO (1963) die Reben durch überhöhte Sulfatgehalte im Boden von 0,8 - 1,56 % oberirdisch abstarben, waren die Wurzeln noch am Leben. Das Wurzelsystem ist also der resistenteste Teil der Rebpflanze. Bedenken, daß hohe Kalium-Gehalte im Boden die Rebwurzeln direkt schädigen könnten, erscheinen auch nach einer Mitteilung von PLATZ (1966) als wenig wahrscheinlich. Dieser Angabe zufolge wurde auf Schieferboden ein Weinberg jahrelang mit 1000 kg  $K_2O$  pro ha gedüngt. Der Kalium-Gehalt des Bodens stieg daraufhin bis auf 200 mg  $K_2O/100$  g Boden an, ohne Schäden zu verursachen. Auch in den Gefäßversuchen traten (s. Abb. 79) bei der Düngung von 400 mg  $K_2O/100$  g Boden Laktat-Kalium-Werte von annähernd 200 mg  $K_2O$  auf. Diese haben in Übereinstimmung mit der Angabe von PLATZ (1966), wie aus der Verrechnung der Er-

gebnisse hervorgeht, keine signifikant negative Wirkung auf die Wurzelentwicklung ausgeübt. Trotzdem sollte bei ähnlichen Düngungsmaßnahmen auf anderen Standorten dem Ton- und Schluffgehalt des betreffenden Bodens und dessen Kalium-Versorgungszustand die nötige Beachtung geschenkt werden.

#### 4. DISKUSSION

In Besprechungen nach jedem der drei experimentellen Abschnitte dieser Arbeit wurde bereits auf die jeweiligen Ergebnisse eingegangen. Daher erscheint es angebracht, in der abschließenden Diskussion nur noch einige Zusammenhänge herauszustellen, die für die Kalium-Ernährung der Rebe unter Berücksichtigung der bereits besprochenen Ergebnisse von Einfluß sind.

Nach DECKER (zit. n. PLATZ 1969) beträgt der jährliche Reinnährstoff-entzug durch eine Rebpfanzung bei einer durchschnittlichen Ernte von 100 hl/ha für den Nährstoff-Kalium 120 - 150 kg  $K_2O$ /ha. GÄRTEL (1966) rechnet bei einem Mostertrag von 100, 150 und 200 hl/ha mit einem  $K_2O$ -Entzug von 110, 135 und 160 kg/ha. DJABARIAN (1970) gibt für Riesling bei einem Ertrag von 120 kg/a = 96 hl/ha einen Entzug von 54 kg  $K_2O$ /ha an. Einen ähnlichen Wert von 52, 95 kg Kalium/ha fanden auch LAFON et al. 1964 bei der Rebsorte Ugni Blanc und einem Ertrag von 160 hl/ha.

Diese Kalium-Mengen müssen überwiegend in den 5 Hauptvegetationsmonaten Mai - September aus dem Boden aufgenommen werden. Zunächst dominiert nach einer umfassenden Untersuchung von DJABARIAN (1970) während des Aufbaus des Assimilations- und Leitungssystems der Kalium-Bedarf des Triebes, wobei allein die Triebachse im Monat Juli 1/3 der gesamten Kalium-Menge aufnimmt.

Der hohe Kalium-Bedarf der Trauben - nach WILHELM (1950) enthält die Traubenasche bis zu 50 % Kalium - setzt mit dem Weichwerden der Beeren ein. Er führt dazu, daß bis Mitte September 50 % und mehr des Trieb-Kaliums in den fruchtenden Organen vorliegen. Nach DJABARIAN (1970) wird Ergebnissen des Jahres 1968 zufolge von der Riesling-Rebe in den Monaten Mai, Juni und Juli 60 - 63 % des Mitte September in der Pflanze

vorhandenen Kaliums aufgenommen. Dies bedeutet, daß nach diesem Termin noch mehr als  $1/3$  des Gesamtbedarfs aus dem Boden aufgenommen werden muß. In dem Zeitraum höchster Wachstumsintensität vom 20. Juni bis 1. August wurden 50 % des Kaliums aufgenommen. Eine Störung der Kalium-Aufnahme gerade in dieser Zeit muß daher für die Rebe ernste Folgen haben.

Wie MENGEL und FORSTER (1968) nachweisen konnten, verringert eine Unterbrechung der Kalium-Ernährung das Ertragspotential der Pflanze. Die negativen Folgen der Unterbrechung können durch eine spätere optimale Kalium-Versorgung nicht wieder ausgeglichen werden. Kalium-Mangel während des Aufbaues des Assimilationsapparates und der Blütezeit ist schwerwiegender als während der späteren Reifephase. Diese an Gerste gewonnenen Erkenntnisse gelten prinzipiell auch für die Rebe, sie müssen jedoch erweitert werden. Abweichend von der Gerste ist die Qualität des Erntegutes der Rebe mit von dessen Kalium-Gehalt abhängig (MÜNZ 1964, 1967, BUCHER 1968). Ein Kalium-Mangel z. Z. der Reife bedingt daher u. U. einen zu geringen Kalium-Gehalt in Most und Wein und eine schädliche Translokation dieses Nährstoffes aus den vegetativen Organen in die Trauben. Dieser Vorgang führt zu einer suboptimalen Versorgung der Rebepflanze, welche sich nach YORK et al. (1953) und WILHELM (1964) um so nachhaltiger auswirken muß, je optimaler die Versorgung mit den übrigen Nährstoffen erfolgt. Hält ein solcher Mangelzustand bis in den Winter hinein an, so kann die Kälteresistenz der Rebe beeinträchtigt sein, selbst wenn ein Einfluß auf den Ertrag infolge der unzureichenden Kalium-Ernährung noch nicht eingetreten ist.

Eine verminderte Frostresistenz infolge unzureichender Kalium-Versorgung stellte sich bei den ungedüngten Reben des Gefäßversuches mit Ruländer-Topfreben (2. 3. 4.) im Winter 1969/70 ein. Von den 5 Pflanzen zeigten zu Vegetationsbeginn lediglich 2 ein normales Wachstum, während 2 weitere kümmernten und eine Rebe abgestorben war. Alle mit Kalium ge-

düngten Reben wiesen hingegen ein gesundes, zügiges Wachstum auf. Sie waren vom Winterfrost in keiner Weise negativ beeinflusst worden.

Wie in der Besprechung der Feldversuche bereits angeführt wurde, spielt eine gute physikalische Struktur des Bodens über einen geregelten Gasaustausch für die aktive Nährstoffaufnahme durch die Wurzel eine große Rolle. Ebenfalls strukturabhängig ist das Wasseraufnahme- und -speichervermögen des Bodens. In Verbindung mit den Niederschlägen bedingen diese Bodeneigenschaften die dem Pflanzenwuchs während der Vegetationszeit im Boden zur Verfügung stehende Wassermenge und den jeweiligen Feuchtigkeitsgehalt des Bodens. Vom Feuchtigkeitsgehalt des Bodens und der Größenverteilung der im Boden vorhandenen Poren hängt wiederum die Wasserbeweglichkeit und in Verbindung mit dem Nährstoffgehalt des Bodens die Nährstoffkonzentration der Bodenlösung ab.

Nach JENNY (1965) bestehen 4 Theorien, nach welchen die Pflanze in der Lage ist, aus dem Boden Nährstoffe aufzunehmen:

1. Lösungstheorie
2. Kohlensäuretheorie
3. Chelattheorie
4. Kontakttheorie

Wie SCHWERTMANN (1968), MENGEL et al. (1969) und NEMETH et al. (1970) ausführen, hat für die Ernährung der Pflanze die Lösungstheorie, d. h. die unmittelbare Nährstoffaufnahme aus der wässrigen Phase des Bodens, die größte Bedeutung. In der Bodenlösung, der Nährlösung der Kulturpflanze am natürlichen Standort, liegen die Nährstoffe in Ionenform oder lose an Oberflächen sorbiert vor. Dabei ist unter dem Begriff "Bodenlösung" das flüssige, nicht an Oberflächen gebundene Bodenwasser mit seinen gelösten Stoffen zu verstehen. Wie MENGEL et al. (1969) ausführlich berichten, stellt der "Kontaktaustausch" lediglich einen speziellen räumlichen Bereich der Bodenlösung in unmittelbarer Wurzelnähe dar. Nach EPSTEIN (1966) entspricht die Rate der aktiven Ionen-Aufnahme im niedrigen Konzentrationsbereich in

Abhängigkeit von der einwirkenden Ionen-Konzentration einer Sättigungskurve. Die Höhe des Niveaus dieser Kurve hängt nach MENGEL et al. (1969) von den herrschenden Stoffwechselbedingungen der Pflanze ab. Bei optimaler Temperatur und Belichtung wird ein höheres Niveau erreicht als unter ungünstigen Stoffwechselverhältnissen. Die optimale Ionen-Konzentration der Bodenlösung ist daher keine konstante Größe. Vielmehr muß die für eine maximale Nährstoffaufnahme notwendige Ionen-Konzentration um so höher sein, je optimaler die allgemeinen Stoffwechsel- und Wachstumsbedingungen der Pflanze sind. Die als optimal anzusehende Konzentration der Nährlösung wird von MENGEL et al. (1969) für Kalium in der Größenordnung von 1 mmolar für Wasserkulturen angegeben. Für Freilandverhältnisse muß dieser Wert höher angesetzt werden, da die Wurzel im Boden unter normalen Feuchtigkeitsverhältnissen weit unvollkommener mit der Bodenlösung in Kontakt treten kann als dies in Wasserkulturen der Fall ist.

Durch die Nährstoffaufnahme der Pflanze tritt in unmittelbarer Wurzelnähe eine Verarmung der Bodenlösung an den Nähr-Ionen ein, so daß diese aus dem umgebenden Bodenraum wieder nachgeliefert werden müssen. Der Nährstofftransport, aus dem die Wurzel umgebenden Bodenraum zu dieser hin, stellt daher eine sehr wesentliche Komponente der Nährstoffverfügbarkeit dar. Nach BARBER et al. (1963) kann dieser Nährstofftransport auf drei verschiedene Arten erfolgen.

- |                 |                                                                                   |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Interzeption | die Wurzel wächst zum Nährstoff hin                                               |
| 2. Massenfluß   | die Nährstoffe werden mit dem Wasser zur Pflanzenwurzel transportiert             |
| 3. Diffusion    | die Nähr-Ionen diffundieren in Richtung des Konzentrationsgefälles zur Wurzel hin |

Wie MENGEL et al. (1969) für Sommerweizen berechneten, spielt die Interzeption für die Aufnahme des Nährstoffes Kalium eine untergeordnete Rolle. Für das Kalium (ebenso für Stickstoff und Phosphor) ist daher der Nährstofftransport zur Wurzel hin von sehr erheblicher Bedeutung für dessen

effektive Pflanzenverfügbarkeit. Die in Form des Massenflusses mit dem Wasserstrom zur Wurzel bewegte Nährstoffmenge ist abhängig von der Wassermenge und von deren Nähr-Ionen-Konzentration. Die Wassermenge ist etwa mit der transpirierten Wassermenge gleichzusetzen. Nach den Untersuchungen von MENGEL et al. (1969) wird die Kalium-Ernährung der Sommerweizenpflanzen durch Interzeption und Massenfluß noch nicht zur Hälfte sichergestellt. Das bestehende Defizit muß durch Diffusionsvorgänge gedeckt werden. Somit stellt die Diffusion des Kalium-Ions in der Bodenlösung einen Vorgang von zentraler Bedeutung für die Kalium-Ernährung dar.

Die Diffusion des Nähr-Kations im Boden ist erheblich von der Durchfeuchtung, der Geometrie des Diffusionsraumes, der Bodenart und der Konzentration der Bodenlösung abhängig (MORTLAND 1961, PLACE und BARBER 1964 und EVANS und BARBER 1964). In Versuchen von MENGEL et al. (1969) erhöhte die Steigerung der Bodenfeuchte von 5 auf 30 %  $H_2O$  die Diffusionsrate von Kalium um mehr als 100 %. Die Tendenz zeigte sich unabhängig vom Kalium-Gehalt des Bodens. Die Erhöhung des Bodenwassergehaltes bewirkte eine Vergrößerung des für die Ionen in der Bodenlösung zur Verfügung stehenden Diffusionsraumes (Diffusionsquerschnitt) und auch dessen Kontinuität. Beide Faktoren machten sich um so stärker bemerkbar, je höher der wasserlösliche Anteil der Kalium-Ionen an der gesamten diffusiblen Nährstoffmenge war.

Nach KAUFMANN und BOULDIN (1967) und MENGEL et al (1969) beträgt die durch die Diffusion überbrückbare Strecke für  $K^+$ -Ionen in ziemlich trockenem Boden (11 %  $H_2O$ ) nur 4 mm und im feuchten Boden (18 %  $H_2O$ ) ca. 10 mm. Diese Tatsache besagt, daß unter trockenen Bedingungen eine Pflanze bei gleicher Ausdehnung des Wurzelsystems die Nährstoffe eines weit geringeren Bodenraumes auszuschöpfen vermag als unter feuchten Bedingungen. Unter schlechten Diffusionsbedingungen ist daher nur ein Teil der austauschbaren Nährstoffmenge effektiv pflanzenverfügbar. Nach LEVIS und QUIRK

(1967) ist der Radius der an Nährstoffen infolge des Entzuges verarmten Bodenzone, welche die Wurzel umgibt, infolge der sich einstellenden Konzentrationsgradienten um so größer, je höher der Nährstoffgehalt des Bodens ist.

Neben der Höhe der Konzentration der Bodenlösung ist für eine ausreichende und kontinuierliche Ernährung auch die Konstanz dieser Konzentration maßgebend. Wie MENGEL et al. (1969) zeigen konnten, bestehen beträchtliche Unterschiede in der Konstanz der Konzentration der Bodenlösung zwischen den Bodenarten. Die sandigen Böden weisen generell bei niedrigem Tongehalt eine relativ hohe Konzentration der Bodenlösung auf, welche jedoch infolge mangelnder Reserven bei einer Kalium-Entnahme durch die Pflanzen auch relativ schnell absinkt. Lehmig-tonige Böden hingegen verfügen über eine geringe Konzentration der Bodenlösung, deren Höhe aber über einen längeren Zeitraum nahezu unverändert aufrecht erhalten werden kann, aufgrund der größeren Reserven austauschbaren und nachlieferbaren Kaliums.

In diesem Zusammenhang müssen nun die eigenen unter 3.1.2. beschriebenen Versuche zur Beweglichkeit des Kaliums in Bodensäulen und zwar speziell die Serie III erwähnt werden. Wie die Abbildung 10 zeigt, geben die sehr stark mit 100, 200 und 400 mg  $K_2O/100$  g Boden gleichmäßig gedüngten Bodensäulen bei der Auswaschung mit Wasser zunächst ihren "Überschuß" an kurzfristig wasserlöslichem Kalium ab, um nach einer gewissen Zeit das aufgrund ihrer Kalium-Belegung typische Kalium-Niveau des Effluates zu erreichen. Der zeitliche Konzentrationsverlauf im Effluat kann stellvertretend für die Konzentrationsverhältnisse in der Bodenlösung angesehen werden, wenn auch die absoluten Werte der Kalium-Konzentration im Effluat niedriger sein dürften als in der Bodenlösung selbst. Das Kalium-Niveau wird dann über einen längeren Zeitraum, trotz ständigen Kalium-Entzuges infolge der Auswaschung, aufrecht erhalten. Die Höhe des bodentypischen Niveaus ist düngungsabhängig. Sie wird von dem Vorrat des Bodens an austauschbarem Kalium bestimmt. Je höher die Düngergabe bemessen wird, desto

stärker ist die Kalium-Belegung der p-Bindungsposition des Bodentones und um so höher ist das Kalium-Niveau von Effluat- bzw. Bodenlösung. Je geringer die Kalium-Düngung vorgenommen wird, um so kleiner ist auch der "Kalium-Überschuß" des Bodens und um so frühzeitiger stellt sich das "endgültige" Kalium-Niveau im Effluat ein. Wie am Effluat der Düngungsstufe 100 mg  $K_2O$ /100 g Boden deutlich wird, ist die Konstanz der Konzentration des Effluates bzw. der Bodenlösung im verwendeten Versuchsboden gut. Das erwünschte Kalium-Niveau, welches eine ausreichende Kalium-Ernährung der Pflanze gewährleistet, läßt sich durch Düngungsmaßnahmen erzielen.

Ein solcher progressiver Anstieg des austauschbaren Kaliums mit steigender Düngung infolge der zunehmenden Belegung der p-Position mit Kalium zeigt sich deutlich in Serie IV (3, 1, 2, ). Auch die unter 3, 2, 4. angeführten Kalium-Steigerungen an 3 verschiedenen kaliumarmen Unterböden verdeutlichen die Abhängigkeit des austauschbaren Kaliums von der Bodenart und der anfänglichen Kalium-Belegung des Versuchsbodens. Der Essinger Unterboden mit seinem relativ hohen Tongehalt bei geringem Kalium-Gehalt zu Anfang erreicht bei gleicher Düngung nur ein weit geringeres Niveau an austauschbarem Kalium als z. B. der tonarme Rohlöß aus Gottenheim, trotz dessen anfangs noch niedrigerem Kalium-Gehalt. Dieses Verhalten kommt dadurch zustande, daß im Essinger Unterboden zunächst die sehr spezifischen Austauschkapazitäten der e- und i-Positionen stärker aufgefüllt werden müssen, ehe die in p-Position gebundene Kalium-Menge und somit das leicht austauschbare Kalium merklich zunimmt. Im tonarmen Gottenheimer Rohlöß kann diese Auffüllung bereits mit geringeren Kalium-Düngergaben erfolgen, womit die weitere Steigerung der Düngung vor allem das austauschbare Kalium zu erhöhen vermag.

Der direkte Einfluß der Düngung und der zunehmenden Absättigung der e- und i-Positionen und der Belegung der p-Position zeigt sich auch am Kalium-Konzentrationsanstieg in der Bodengleichgewichtslösung der Gefäßversuche (3, 3, 5, ). Dieser Anstieg ist, wie Abbildung 79 erkennen läßt, progressiv.

Er läßt somit den Rückschluß auf die zunehmende prozentuale Kalium-Belegung der p-Position an der insgesamt sorbierten Kalium-Menge zu.

Um diesen "Idealzustand" zu erzielen, genügt es generell nicht, einen bestimmten Wert an austauschbarem Kalium pro 100 g Boden zu erreichen, man muß nach FINGER und SCHACHTSCHABEL (1962) und NEMETH (1969) dabei vielmehr auch den Ton- und Schluffgehalt des Bodens berücksichtigen. SCHWERDT und JESSEN (1961) schlagen vor, die Kalium-Versorgung der Böden in Beziehung zu deren Tongehalt zu setzen, die bisherigen festen Grenzzahlen aufzugeben und pro Prozent Ton 1, 2 - 1, 5 mg Laktat-Kalium für Ackerland anzustreben. Für Reben müßten diese Werte noch etwas angehoben werden. Den Untersuchungen von NEMETH (1969) und NEMETH et al. (1970) zufolge, besteht in Böden mit vergleichbaren Ton- und Schluffgehalten eine Korrelation zwischen dem austauschbaren Kalium und der Kalium-Konzentration der Bodenlösung. Je geringer der Ton- und Schluffgehalt eines Bodens ist, desto höher ist die Konzentration der Bodenlösung bei gleichem Gehalt an austauschbarem Kalium. Umgekehrt nimmt die Kalium-Konzentration der Bodenlösung bei gleicher Menge an austauschbarem Kalium mit steigendem Ton- und Schluffgehalt des Bodens ab, da in diesem Fall relativ immer weniger Kalium in p-Position gebunden ist. Schluff- und tonarme Böden haben einen relativ hohen Prozentsatz ihres austauschbaren Kaliums in p-Position sorbiert, schluffig-tonige Böden hingegen in e- und i-Position. Nach SCHOUWENBURG und SCHUFFELEN (1963) liegt bei geringer Kalium-Sättigung des Bodens nahezu alles austauschbare Kalium in e- und i-Position gebunden vor. Die Kalium-Anreicherung ton- und schluffreicher Böden hebt den Prozentsatz des in p-Position gebundenen Kaliums an und ermöglicht somit einen Anstieg des austauschbaren Kaliums und der Kalium-Konzentration der Bodenlösung. Die Mobilität der Kalium-Ionen nimmt zu (LETEY und KLUTE 1960).

Die Tatsache, daß die Konzentration der Bodenlösung texturabhängig ist, stimmt mit der guten Korrelation zwischen der Kalium-Konzentration der

Bodenlösung und der prozentualen Kalium-Sättigung von Ton und Schluff überein. Da, wie NEMETH et al. (1970) ausführen, die prozentuale Kalium-Sättigung die Intensität und Kapazität der Kalium-Verfügbarkeit sowie die Kalium-Pufferungskapazität beeinflusst, charakterisiert sie die Kalium-Verfügbarkeit besser als das austauschbare Kalium allein. Sogar bei hohen Gehalten des Bodens an austauschbarem Kalium kann nämlich eine zu niedrige Kalium-Konzentration der Bodenlösung das Pflanzenwachstum begrenzen, falls der Boden einen hohen Tongehalt aufweist. In diesem Fall muß man nach NEMETH (1969), will man die Kalium-Konzentration der Bodenlösung erhöhen, um dadurch eine bessere Kalium-Aufnahme der Pflanzen zu gewährleisten, trotz des höheren Gehaltes an austauschbarem Kalium diesem Boden mehr Kalium durch Düngung zuführen als einem leichteren Boden.

Nach v. BOGUSLAWSKI (1968) kann mit einem gleichmäßigen Kalium-Niveau der Bodenlösung gerechnet werden, solange der Spiegel des austauschbaren Kaliums nicht absinkt und dieses aus spezifischeren, d. h. festeren Bindungspositionen regeneriert werden kann. Die Möglichkeit, in sorptionsstarken Böden, wozu auch die Lößböden gehören, einen beträchtlichen Kalium-Vorrat ohne Gefahr des Verlustes durch Auswaschung anlegen zu können (LARSEN et al. 1960), macht es möglich, eine ausreichende Kalium-Konzentration der Bodenlösung über mehrere Jahre aufrecht zu erhalten, ohne ständig nachdüngen zu müssen. Von dieser Möglichkeit wird bei der Anlage des Depotstreifens Gebrauch gemacht,

Wie z. B. die Abbildungen 54 und 60 ausweisen, werden im Depotstreifen des Feldversuches Worms-Abenheim (3. 2. 3.) in 30 - 50 cm Tiefe Laktat-Kalium-Werte um 80 mg  $K_2O/100$  g Boden in der Düngungsstufe  $K_3$  erreicht. Damit wird der anzustrebende Wert von 50 mg  $K_2O/100$  g Boden beträchtlich überschritten. Nach WALTER (1970) ist bei Laktat-Kalium-Werten von 80 mg  $K_2O/100$  g Boden und mehr erfahrungsgemäß eine jährliche Kalium-Düngung überflüssig, d. h. im Falle der Düngungsstufe  $K_3$  kann, den Feldversuch Worms-Abenheim betreffend, von einem wirklichen "Depotstreifen" gesprochen werden.

Wie die Untersuchungen zur vertikalen Beweglichkeit des Kaliums (3. 1. 3.) gezeigt haben, ist mit einer nennenswerten Kalium-Auswaschung nicht zu rechnen, solange der unterste Wurzelraum der Rebe noch einen niedrigen Kalium-Gehalt aufweist. Die mit dem in den relativ trockenen deutschen Weinbaugebieten ohnehin geringen Sickerwasserstrom verlagerten Kalium-Ionen werden von den noch kalium-bedürftigen tieferen Bodenbereichen sofort sorbiert und sorgen so für eine zwar nur sehr langsame Kalium-Versorgung auch dieser Bodenzone. Da die Rebe bekanntlich tief wurzelt, ist bei der nur sehr zögernden Kalium-Verlagerung in die Tiefe mit einem Kalium-Austritt aus dem Wurzelraum nicht zu rechnen. Ein Kalium-Verlust tritt auf diese Weise, selbst bei hohen Düngergaben normalerweise nicht ein.

In den Feldversuchen konnte eine Kalium-Verlagerung aus dem Depotstreifen heraus unterhalb von 60 cm Tiefe nicht nachgewiesen werden. Es hat somit kein Kalium den Hauptwurzelbereich der Rebe verlassen.

Wie sich in der Praxis gezeigt hat, treten Kalium-Mangelerscheinungen in feuchten Jahren weit seltener und weniger gravierend in Erscheinung als in Trockenjahren. Diese Beobachtung läßt sich mit den obigen Ausführungen über die K-Transportmechanismen zur Pflanzenwurzel hin erklären. Ihnen zufolge bestehen nun zwei Möglichkeiten, dem Kalium-Mangel zu begegnen:

1. Man sorgt (bei einem gewissen Mindestgehalt an austauschbarem Kalium im Boden) für eine ständige gute Durchfeuchtung und ermöglicht durch die Förderung von Massenfluß und Diffusion eine ausreichende Kaliumernährung der Reben.
2. Man erhöht den Gehalt des Bodens an austauschbarem Kalium und somit die Konzentration der Bodenlösung. Geschieht dies ebenfalls im Unterboden, so reichen auch in trockenen Perioden (trotz eines infolge Wassermangels verringerten Diffusionsquerschnittes) Massenfluß und Diffusionsrate aus, die Reben mit genügend Kalium zu versorgen.

Die erste Lösung wird in den meisten Fällen zu verwerfen sein, da es in den Weinbergslagen zumeist schwierig ist, eine Beregnung vorzunehmen. Man wird daher der zweiten Lösung den Vorzug geben und versuchen müssen, auch in Trockenjahren über eine hohe Kalium-Düngung eine hohe Kalium-Konzentration der Bodenlösung und somit eine hohe Kalium-Aufnahme der Rebe zu erreichen. Alle zusätzlichen Maßnahmen, welche der Erhöhung der Feldkapazität und der Infiltration der Niederschläge dienlich sind, können weiterhin von Nutzen sein und sollten angewandt werden. In diesem Zusammenhang ist besonders an eine physikalische Verbesserung der Struktur des Depotstreifens zu denken, wie sie bereits unter 3. 2. 5. dargelegt wurde.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß in dem mit Kalium angereicherten Depotstreifen günstige Bedingungen für die Kalium-Aufnahme bestehen. Die starke Düngung führt zu einem Anstieg des austauschbaren Kaliums und der Konzentration der Bodenlösung. Die Wurzelverkürzung infolge des Lokkerungsvorgangs bewirkt eine intensive Wurzelregeneration und Neubildung aufnahmeaktiver Feinwurzeln, welche in den kalium-reichen Bodenraum einwachsen können und hier gute Bodenstrukturverhältnisse vorfinden. Auf diese Weise bestehen sehr günstige Voraussetzungen für die Kalium-Aufnahme durch Interzeption, Diffusion und Massenfluß, selbst wenn der Diffusionsquerschnitt infolge Trockenheit kurzzeitig verringert und der Massenfluß eingeschränkt sein sollte. Gelingt es, die Wasserkapazität durch zusätzliche Maßnahmen bei Anlage des Depotstreifens ebenfalls zu erhöhen, so kann das Kalium-Angebot in kritischen Perioden u. U. aufrecht erhalten werden. Somit besteht die Möglichkeit, durch die Anlage eines Depotstreifens die Kalium-Aufnahme der Rebe beträchtlich zu verbessern und Kalium-Mangelerscheinungen wirksam zu begegnen.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Wie Laboratoriumsuntersuchungen an Bodensäulen gezeigt haben, verläuft die vertikale Verlagerung des Kaliums selbst in einem ideal strukturierten Lößlehm nur äußerst langsam. Kalium-Gaben von umgerechnet 6630 kg  $K_2O/ha$  in ca. 550 mm Wasser/ $m^2$  gelöst und innerhalb von 5 Tagen auf den feuchten Säulenboden einer Dichte von 1,03 verabreicht, hatten unter diesen günstigen Bedingungen lediglich eine Beeinflussung des Boden-Kalium-Gehaltes bis 12 cm Tiefe zur Folge. Der Kalium-Gehalt ist an der Oberfläche hoch und fällt zur Tiefe hin schnell ab.

Bei steigenden Kalium-Gaben nimmt der Gehalt des Bodens an laktatverfügbarem Kalium in Form einer Sättigungskurve zu. Ca. 1/3 des gedüngten Kaliums wurde in eine laktatunlösliche Bindungsform überführt. Eine zunehmende Verteilung des Dünger-Kaliums im Boden verringert dessen austauschbar verbliebenen Anteil. Eine nennenswerte Kalium-Auswaschung tritt nicht ein, solange die unterste Säulenschicht noch einen niedrigen Gehalt an austauschbarem Kalium aufweist.

Mit steigenden Kalium-Gaben aufgedüngter Lößlehm gibt an perkolierendes Wasser - nach erfolgter Auswaschung nicht oder nur lose sorbierter "Kalium-Überschüsse" - langfristig gleichbleibende Kalium-Mengen ab. Die Höhe der Kalium-Konzentration im Perkolat ist düngungsabhängig.

Mit steigender Kalium-Düngung vollzieht sich ein progressiver Anstieg des laktatverfügbar verbliebenen Düngeranteils.

Das Kurvenbild des Laktat-Kalium-Gehaltes quer zur Rebasse gibt den Depotstreifen im Unterboden als steilen Peak wieder. Die Hauptwurzelzone der Reben konnte demnach mit der angewandten Methode erreicht und dort ein Nährstoffdepot geschaffen werden. Die Oberflächendüngung war lediglich geeignet, den Kalium-Gehalt des Oberbodens zu erhöhen.

Die stufenweise Aufdüngung von 3 verschiedenen Unterböden macht deren enormen Kalium-Bedarf deutlich. In Abhängigkeit vom Tongehalt des Bodens und bereits teilweise erfolgter Belegung der spezifischen Kalium-Bindungspositionen (e-, i-Position) ist zur Erreichung eines Laktat-Kalium-Gehaltes von 50 mg  $K_2O/100$  g Boden eine Düngung von 3000 bis 9000 kg  $K_2O/ha$  erforderlich.

Die Depotstreifendüngung hat gegenüber der Oberflächengabe bei den Reben signifikant erhöhte Kalium-Gehalte im Blattstiel und bessere Erträge bewirkt. Sie war einer 3fachen Oberflächengabe überlegen. Somit ist die Kalium-Plazierung weit wichtiger als die Höhe der verabreichten Düngergabe.

Gefäßversuche mit Stecklingen (Müller-Thurgau, SO 4, 5 BB), Pfropfreben (Müller-Thurgau/SO 4, Müller-Thurgau/5 BB) und Topfreben (Ruländer/26 G) haben bewiesen, daß die Reben hohe Kalium-Konzentrationen in der Bodenlösung ohne Schaden für Wurzel und Sproß vertragen. Die Ruländer-Reben wiesen sogar bis zur maximalen untersuchten Konzentration von 14,3 mval/l noch ein gesteigertes Wachstum bei erhöhtem Kalium-Gehalt auf.

Hohe pflanzenverfügbare Kalium-Gehalte im Boden, verbunden mit einer hohen Kalium-Aufnahme durch die Rebe, vermindern aufgrund des Ionen-Antagonismus spiegelbildlich zum ansteigenden Kalium-Gehalt deren Magnesium-Gehalt. Diese Tatsache muß bei der Düngung berücksichtigt werden.

Die gesteigerte Kalium-Düngung nur eines Teils der Wurzeln unter Anwendung der Methode des geteilten Wurzelsystems hat keine quantitative Veränderung des Wurzelwachstums in dem mit Kalium gedüngten Boden gegenüber den im ungedüngten Boden gewachsenen Kontrollwurzeln erbracht. Der Kalium-Gehalt der gedüngten Wurzeln war jedoch, bei erniedrigtem Magnesium-Gehalt, signifikant erhöht. Der ungedüngte Wurzelteil wies bei einer Steigerung der Düngung der übrigen Wurzeln erhöhte Kalium-Gehalte auf und hat somit auf dem Umweg über den Sproß von dieser ebenfalls profitiert.

Ebenso wie den Kalium- und Magnesium-Gehalt erhöhte bzw. verminderte die Kalium-Düngung auch die Kalium- bzw. Magnesium-Aufnahme signifikant.

In der Diskussion wird auf den zeitlichen Kalium-Bedarf der Rebe und Faktoren eingegangen, welche für die Kalium-Ernährung der Rebe unter Berücksichtigung der erhaltenen Ergebnisse von Einfluß sind.

## 6. LITERATURVERZEICHNIS

- |                                                |             |                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AGUILERA, N. H.<br>JACKSON, M. L.              | (1953)      | Iron oxide removal from soil and clays. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17, 359-364                                                                            |
| ARCHIBALD, J. A.                               | (1956)      | Grape nutrition studies in Ontario. Abstr. in Agric. Inst. Rev. 11, 36 (ref. Hort. Abstr. 26, 3453)                                                       |
| BARBER, S. A.<br>WALKER, J. M.<br>VASEY, E. H. | (1963)      | Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to plant root. Agric. and Food Chem. 11, 204-207 (zit. n. MENGEL et al. 1969) |
| BAROCCIO, A.<br>PALIERI, M.                    | (1965/1966) | Experiments in the deep fertilisation of vines using the injector pole. Ann. Staz. chim. agr. sper., Roma, 235, 16 (ref. Hort. Abstr. 38, 5193)           |
| BARSHAD, I.                                    | (1954)      | Cation exchange in micaceous minerals. II. Replaceability of ammonium and potassium from vermiculite, biotite and montmorillonite. Soil Sci. 78, 57-76    |
| BECKER, H.                                     | (1964)      | Über Ziele und Möglichkeiten der Unterglagenforschung im deutschen Weinbau. Der Deutsche Weinbau 15, 95-101                                               |
|                                                | (1966)      | Über Fortschritte in der Rebenveredlung. Der Deutsche Weinbau 21, 855-857                                                                                 |
| BECKER, N. J.                                  | (1967)      | Beiträge zur Standortforschung an Reben (vitis vinifera L.). Ergebnisse einer Erhebungsuntersuchung im Rheingau. Landwirtschaftswiss. Diss. Gießen        |
|                                                | (1970)      | Beiträge zur Standortforschung an Reben (vitis vinifera L.). Ergebnisse einer Erhebungsuntersuchung im Rheingau. Die Wein-Wissenschaft 25, 63-116         |
| BEETZ, K. J.                                   | (1967)      | Nährstoffgehalt von Rebschulböden und Topferden. Der Deutsche Weinbau 22, 268-270                                                                         |

- BERGMANN, E. L. (1958) A comparison between petiole and stem analysis of Concord grapes. Proc. Amer. Soc. hort. Sci. 71, 177-182
- KENWORTHY, A. L.  
BASS, S. T.  
BENNE, E. J.
- BLANCHET, R. (1967) Kaliumbilanzen und Kaliversorgung der Pflanzen bei vorhandener Festlegung und Nachlieferung nichtaustauschbaren Kaliums. Ann. Agron. 18, 606-621
- BOSC, M.
- BOGUSLAWSKI, E. v. (1966) Arbeitstagung über Unterboden- und Tiefenbearbeitungsmaßnahmen vom 10. - 12. Okt. 1966 in Ahrweiler. Forschungsrat für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Diskussionsbeitrag
- (1968) Düngung, Ertrag und Kaliumbilanz. Wissenschaftl. Kali-Tagung Hannover 1968. Landwirtschaftl. Forschungsanstalt Buntehof, Hannover-Kirchrode, 5-32
- BOGUSLAWSKI, E. v. (1958) Untersuchungen über mechanische Widerstandsmessungen mit einer Rammsonde auf Ackerböden. Z. Acker- u. Pflanzenbau 106, 245-256
- LENZ, K. O.
- BOLT, G. H. (1963) A study of the equilibria between three categories of potassium in a illitic soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27, 294-299
- SUMNER, M. E.  
KAMPHORST, A.
- BONARD, J. (1968) Influence of manuring on some morphological and biochemical characteristics of canes of *Vitis vinifera* L., variety Ugni-Blanc. Potash Rev. 29, 10 (ref. Hort. Abstr. 39, 424)
- (1965) Grundsätzliches zum Dürreverhalten der Rebe. Der Deutsche Weinbau 20, 102
- BOSIAN, G.
- BOYNTON, D. (1958) Sampling leaves and soil in grape vineyards and interpretation of their analysis in estimation of potassium fertilizers needs, an extension problem. Proc. Amer. Soc. hort. Sci. 72, 139-148
- KIMBALL, K.  
HARDING, Ph.
- BOZHINOVA-BONEVA, I. (1968) Einfluß der Mineraldüngemittel auf die Trockenheitsresistenz der Rebe (bulg.). Lozarstvo i Vinar (Sofia) 17, 13-18 (ref. Vitis 7, 334-335)

- |                         |         |                                                                                                                                                                  |
|-------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BRAUER, A.              | (1966)  | Der Einfluß der Krumenvertiefung auf den Phosphorsäure- und Kaligehalt des Ackerbodens. Landw. Wochenbl. f. Hess.-Nass. 149, 14                                  |
| BUCHER, R.              | (1957)  | Über die Erkennung und Vorbeugung von Magnesiummangelerscheinungen bei Weinreben mit Hilfe von Blatt- und Bodenuntersuchungen. Kali-Briefe. Fachgeb. 5, 6. Folge |
|                         | (1964)  | Nährstoffaufnahme und ihre Auswirkungen bei Reben. Forschungsring des Deutschen Weinbaues bei der DLG, Jahresbericht 1964                                        |
|                         | (1968)  | Neuere Erkenntnisse in der Bemessung und Gestaltung der Meliorationsdüngung bei Weinbergsumlegungsprojekten. Der Deutsche Weinbau 23, 920-927                    |
| BUDIG, M.               | (1968)  | Über die Anwendung der Rammsonde im Weinbau und Möglichkeiten der Versuchsauswertung. Die Wein-Wissenschaft 23, 193-198                                          |
| BURGHARDT, H.           | (1963a) | Pflanzenphysiologische Grundlagen der Blattdüngung. Sonderdruck aus: Wasser und Nahrung H. 1 (1963)                                                              |
|                         | (1963b) | Zur Praxis der Blattdüngung. Sonderdruck aus: Wasser und Nahrung H. 2 (1963)                                                                                     |
| BUXBAUM, W.             | (1956)  | Bodenuntersuchungswerte und Düngergaben für Weinbergsböden. Kali-Briefe. Fachgeb. 5, 3. Folge                                                                    |
| CLAUS, P.<br>HEIMES, R. | (1963)  | Wie kann Magnesiummangel bei Reben beseitigt werden? Die Wein-Wissenschaft 18, 201-209                                                                           |
| COOK, J. A.             | (1966)  | Grape Nutrition. Aus: Temperate to Tropical Fruit Nutrition, F. Childers, Editor. New Brunswick, New Jersey, USA, 772-812                                        |

- COOK, J. A. (1957) Using leaf symptoms and foliar analysis  
KISHABA, T. to diagnose fertilizer needs in California  
vineyards. *Plant Analysis and Fertilizer  
Problems, I. R. H. C., Paris, 1957, 158-  
175 (ref. Hort. Abstr. 27, 3228)*
- COOPER, R. B. (1967) Wirkungen der Kaliumernährung auf die  
BLASER, R. E. Nettphotosynthese und die Morphologie  
BROWN, R. H. von Luzerne. *Proc. Soil Sci. Soc.  
Amer. 31, 231-235*
- DILLEY, D. R. (1958) Growth and nutrient absorption of apple,  
KENWORTHY, A. L. cherry, peach, and grape plants as in-  
BENNE, E. J. fluenced by various levels of chloride  
BASS, S. T. and sulfate. *Proc. Amer. Soc. hort.  
Sci. 72, 64-73*
- DJABARIAN, A. (1970) Zeitliche Veränderungen der Makroele-  
mente in einjährigen Organen der Rebe  
(*Vitis vinifera* L. Sorte Riesling)  
*Landwirtschaftswiss. Diss. Gießen.*
- DUTHION, M. (1966) Le potassium dans le sol. *Revue Agri-  
cole de France - Fertilisation 1966,  
No 2, 1-16*
- EGNER, H. (1960) Kungl. Lantbrukshögsk. Ann. 26, 199  
RIEHM, H. (zit. n. SCHLICHTING, E. und H. P.  
DOMINGO, W. R. BLUME: *Bodenkundliches Praktikum,  
Parey, Hamburg-Berlin 1966)*
- EHLERS, W. (1967) K-Austausch und kristallographisches  
GEBHARDT, H. Verhalten der Dreischicht-Tonminerale.  
MEYER, B. (Beiträge zum K-Austausch des Bodens  
III) *Z. Pflanzenernähr., Bodenkunde  
117, 29-53*
- (1968) Untersuchungen über die positionsspezi-  
fische Bindung des Kaliums an Illit, Kao-  
linit, Montmorillonit und Humus. (Bei-  
träge zum K-Austausch des Bodens IV)  
*Z. Pflanzenernähr., Bodenkunde 119,  
173-186*
- EHLERS, W. (1967) K-Selektivität und Fraktionierung des  
MEYER, B. Austauschkaliums. (Beiträge zum K-Aus-  
SCHEFFER, F. tausch des Bodens II) *Z. f. Pflanzener-  
nähr., Bodenkunde 117, 1-29*

- |                                  |         |                                                                                                                                                          |
|----------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EPSTEIN, E.                      | (1966)  | Dual pattern of ion absorption by plant cells and by plants. <i>Nature</i> 212, 1324-1327                                                                |
| EVANS, S. D.                     | (1964)  | The effect of rubidium-86 diffusion on the uptake of rubidium-86 by corn. <i>Soil Sci. Soc. Amer. Proc.</i> 28, 56-57                                    |
| FADER, W.                        | (1967)  | Untersuchungen über die Bewurzelung von Ertragsreben in Normal- und Weitraumerziehung und von Unterlagsreben. <i>Deutsches Weinbaujahrbuch</i> 18, 51-72 |
| FINCK, A.                        | (1957)  | Zur Ermittlung des Kaliumversorgungsgrades lehmiger Braunerden. <i>Kali-Briefe</i> . Fachgeb. 1, 9. Folge                                                |
| FINGER, O.<br>SCHACHTSCHABEL, P. | (1962)  | Auswertung der chemischen Bodenuntersuchung. <i>Mitt. d. D. L. G.</i> 77, 102-104                                                                        |
| FREI, E.<br>KELLER, E.           | (1953)  | Strukturbeurteilung in der Ackerschicht mit Hilfe der Rammsonde. <i>Landw. Jahrb. Schweiz</i> , 67, N. F. 2, 581                                         |
| GÄRTEL, W.                       | (1957)  | Die Lanzendüngung im Weinbau. Sonderdruck aus: <i>Der Deutsche Weinbau</i> 12, Nr. 4                                                                     |
|                                  | (1958a) | Kalimangel bei Reben. <i>Deutscher Weinbaukalender</i> 9, 67-73                                                                                          |
|                                  | (1958a) | Untersuchungen über das Auftreten von Kalimangel in Amerikaner-Schnittgärten. <i>Weinberg und Keller</i> 5, 267-287                                      |
|                                  | (1959a) | Kaliummangel in Neuanlagen auf Böden der unteren Diluvialterrasse des Moseltals. <i>Der Deutsche Weinbau</i> 14, 717-722                                 |
|                                  | (1959b) | Beobachtungen über den Einfluß der Kaliumernährung auf das Auftreten von Oidium bei Amerikanerreben. <i>Weinberg und Keller</i> 6, 81-85                 |
|                                  | (1959c) | Beitrag zur Kenntnis des Magnesiummangels bei Reben. <i>Landwirtschaftl. Forschung</i> , 13, Sonderheft 45-58                                            |

- GÄRTEL, W.
- (1960) Die Verteilung von K und Mg in den Reben unter normalen Ernährungsbedingungen und bei Kalium-Mangel. Weinberg und Keller 7, 481-489
  - (1964) Starkes Auftreten von Kaliummangel als Folge der anhaltenden Dürre. Der Deutsche Weinbau 16, 651-656
  - (1965a) Über die Ursachen der Chlorose auf verdichteten Kalkböden. Weinberg und Keller 12, 143-164
  - (1965b) Über den diagnostischen Wert der Blattanalyse bei der Identifizierung von Ernährungsstörungen bei Reben. Vignes et Vins 138, 25-29
  - (1966) Über die Düngung der Reben in intensiv bewirtschafteten Weinbaugebieten. Weinberg und Keller 13, 295-326
  - (1970) Die Düngung bei der Anlage von Weinbergen. Deutsches Weinbaujahrbuch 1970, 11-15
- GLIEMEROTH, G.
- (1953) Bearbeitung und Düngung des Unterbodens in ihrer Wirkung auf Wurzelentwicklung, Stoffaufnahme und Pflanzenleistung. Z. Acker- und Pflanzenbau 96, 1-44
  - (1955) Möglichkeiten der Beeinflussung von Wurzelmasse und Wurzeldifferenzierung. Landwirtschaftl. Forschung, 6. Sonderheft, 69-85
  - (1967) Tiefenbearbeitung und Unterbodendüngung. Arbeitstagung über Unterboden und Tiefenbearbeitungsmaßnahmen am 1. und 2. März 1967 in Gießen, 13-15
- GOROSKO, V.V.
- (1969) The use of saline soils of the steppe region of the Crimea for vine cultivation. Vinodelie i Vinogradarstvo 29, 36-38 (ref. Hort. Abstr. 39, 6471)
- GRAF, J.
- (1968) Neue Möglichkeiten der Düngung. Der Deutsche Weinbau 23, 254-256

- |                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GRASS, K.                  | (1969) Der Einfluß der Tiefenbearbeitung auf pseudovergleyte Parabraunerden und ihre Produktivität. Landwirtschaftswiss. Diss. Gießen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| GRILL, F.<br>SCHLOSSER, H. | (1965) Der Kali- und Phosphorsäurehaushalt des Holzes von unterschiedlich gedüngten Weinstöcken. Mitt. Klosterneuburg. Ser. A, 15A, 178-180                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| GRUPPE, W.                 | <p>(1954a) Die Lanzendüngung bei Obstbäumen. Kali-Briefe. Fachgeb. 5, 2. Folge</p> <p>(1954b) Die Anwendung der Blattanalyse zur Feststellung des Kalium-Ernährungszustandes von Obstbäumen. Kali-Briefe. Fachgeb. 2, 7. Folge</p> <p>(1961) Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse im Obstbau. Kali-Briefe. Fachgeb. 2, 4. Folge</p> <p>(1965) Die Düngung im Obstbau. Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. Band III. Düngung der Kulturpflanzen. Springer Verlag Wien-New York 1965, 854-893</p> |
| HANNEMANN, W.              | <p>(1964) Der Einfluß der chlor- und sulfathaltigen Nährsalze auf das Wachstum und den Ertrag der Reben. Die Wein-Wissenschaft 19, 41-53</p> <p>(1968) Die Ansprüche der Rebe an Boden und Nährstoffe. Der Landwirt, Bozen, 22, 575-577, 623-625</p>                                                                                                                                                                                                                                                          |
| HARTT, C. E.               | <p>(1969) Effect of potassium deficiency upon translocation of <math>^{14}\text{C}</math> in attached blades and entire plants of sugarcane. Plant Physiol. 44, 1461-1469</p> <p>1970 Effect of potassium deficiency upon translocation of <math>^{14}\text{C}</math> in detached blades of sugarcane. Plant Physiol. 45, 183-187</p>                                                                                                                                                                         |

- |                                               |        |                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HERSCHLER, A.                                 | (1933) | Analysen von Rebblättern zur Feststellung des Nährstoffbedürfnisses des Bodens und zur Erkennung von Ernährungsstörungen. Arbeiten aus der Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft 20, 633-666 |
| HILLEBRAND, W.                                | (1965) | Was hat uns das Jahr 1964 gelehrt? Der Deutsche Weinbau 20, 105                                                                                                                                                 |
| HILKENBÄUMER, F.                              | (1966) | Untersuchungen über die Verwendungsmöglichkeit von Dünge- und Humintorf bei der Pflanzung von Obstgehölzen. Der Erwerbsobstbau 8, 32-33                                                                         |
| HOMRIGHAUSEN, E.                              | (1966) | Die Ursachen der Bodenverdichtungen in Rebanlagen und Möglichkeiten zu ihrer Behebung. Die Wein-Wissenschaft 21, 113-126                                                                                        |
| HOMRIGHAUSEN, E.                              | (1967) | Persönliche Mitteilung                                                                                                                                                                                          |
| HOMRIGHAUSEN, E.<br>HOCHMUTH, U.<br>BUDIG, M. | (1970) | Untersuchungen zur Behebung der Chlorose bei Reben. Die Wein-Wissenschaft 25, 133-138                                                                                                                           |
| HOMRIGHAUSEN, E.<br>HOCHMUTH, U.              | (1970) | Untersuchungen über die Klärung bodenkundlich-technologischer Verfahren zur Verbesserung schwieriger Weinbergsböden. Die Wein-Wissenschaft 25, 249-276                                                          |
| HUSCHKA, H.                                   | (1963) | Warum Herbstdüngung im Weinbau? Der Deutsche Weinbau 18, 881-882                                                                                                                                                |
| IONESCU, E.                                   | (1967) | Trenching sandy soils, a fundamental operation in establishing vineyards. Rev. Hort. Vitic. 16, 14-18 (ref. Hort. Abstr. 38, 2841)                                                                              |
| ISMAIL, Z.<br>HABEEB, H.<br>EL-WAKEEL, A. T.  | (1964) | Further evaluation of the relationship between N, P and K composition of the cluster axis and the nutritional status of the grapevine. Agr. Res. Rev. 42, 1-18                                                  |

- |                                   |             |                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| JENNY, H.                         | (1965)      | Die Grenzzone von Wurzel und Boden in ihrer Bedeutung für die Aufnahme von Eisen aus kalkhaltigen Böden. Die Wein-Wissenschaft 20, 49-61         |
| KADISCH, E.                       | (1965a)     | Gedanken zur Kaliversorgung der Weinberge. Der Deutsche Weinbau 20, 951-955                                                                      |
|                                   | (1965b)     | Ergebnisse eines zehnjährigen Kali-düngungsversuches. Die Wein-Wissenschaft 20, 206-211                                                          |
|                                   | (1966)      | Strukturverbesserungsmöglichkeiten in schweren Böden Rheinhessens. Vortrag, gehalten anlässlich der 17. Rheinhe-s-schen Weinbauwoche             |
| KAUFMANN, M. D.<br>BOULDIN, D. R. | (1967)      | Relationships of exchangeable and nonexchangeable potassium in soils ad-jacent to cation-exchange resins and plant roots. Soil Sci. 104, 145-150 |
| KEES, H. P.                       | (1963)      | Gedanken zur Neuanlage von Weinber-gen. Der Deutsche Weinbau 18, 965-968                                                                         |
| KIRIENKO, T. N.                   | (1963)      | The influence of soil salinity on vine growth and developement (Russ.). (ref. Hort. Abstr. 34, 4451)                                             |
| KOBAYASHI, A.<br>et al.           | (1959/1961) | The effect of potassium on the yield, quality and hardness of grapes. Japan. Potassium Symp. 1959, 1961, 93-106 (ref. Hort. Abstr. 33, 594)      |
| KOLTERMANN, D. W.<br>TRUOG, E.    | (1953)      | Determination of fixed soil potassium. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 17, 347-351                                                                    |
| KONDO, I. N.                      | (1963)      | Résistance de la vigne au froid de l'hiver. Bull. O. I. V. 36, 574-581 (ref. Vitis 4, 78)                                                        |
| KRYLATOW, A. K.                   | (1962)      | On the salt tolerance of vines (Russ.) (ref. Hort. Abstr. 32, 6271)                                                                              |

- KUNTZE, H. (1966) Arbeitstagung über Unterboden und Tiefenbearbeitungsmaßnahmen vom 10. - 12. Okt. 1966 in Ahrweiler. Forschungsrat für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Diskussionsbeitrag
- (1967) Tiefenlockerung und Bedarfsdränung. Arbeitstagung über Unterboden- und Tiefenbearbeitungsmaßnahmen am 1. und 2. März 1967 in Gießen. Forschungsrat für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. 1-5
- KÜMMERER, -. (1970) Mehr Rationalisierung bei der "Nährstoffversorgung" im Weinbau. Der Deutsche Weinbau 25, 218-220
- LAFON, J.  
COUILLAUD, P. (1955) Nouveaux essais de fumure foliaire sur la vigne effectués en 1954. C. R. Acad. Agric. Fr. 41, 96-103 (ref. Hort. Abstr. 25, 2549)
- LAFON, J.  
COUILLAUD, P.  
GAY-BELLIL, F.  
LÉVY, J. F. (1964) Colloque Européen sur le control de la nutrition et de la fertilisation en viticulture, arboriculture et autres cultures méditerranéennes. Montpellier 28, IX-3, X.
- LAGERWERFF, J. V.  
EAGLE, E. (1961) Osmotic and specific effects of excess salts on beans. Plant Physiol. 36, 472-477
- LARSEN, R. P. (1956) Nutritional conditions of concord vineyards in Michigan I, II, III. Petiole analysis and production in relation to applications of potassium fertilizers. Mich. Agr. Expt. Sta. Quart. Bul. 39, 63-87
- LARSEN, R. P.  
KENNORTH, A. L.  
BELL, H. K. (1955) Shortages of K limit Michigan grape yield. Better Crops 39, Nr. 2, 13-16
- LARSEN, R. P.  
et al. (1959) Effects of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium fertilizers on yield and petiole nutrient content of a Concord grape vineyard. Mich. Agr. Expt. Sta. Quart. Bul. 41, 812-819 (ref. Hort. Abstr. 30, 355)

- |                                                |        |                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LARSEN, R. P.<br>et al.                        | (1963) | Effects of potassium and magnesium fertilizers and dolomitic lime on the nutritional status and yield of a concord grape vineyard. Mich. Agr. Expt. Sta. Quart. Bul. 45, 376-386 (ref. Vitis 4, 89-90)                                         |
| LETEY, J.<br>KLUTE, A.                         | (1960) | Apparent mobility of potassium and chloride ions in soil and clay pastes. Soil Sci. 90, 259-265                                                                                                                                                |
| LÉVY, J. F.                                    | (1964) | Identification et étude par l'analyse foliaire de quelques carences alimentaires de la vigne dans le Midi de la France. C. R. Colloq. eur. Contrôle Nutr. min. Fert. Vitic., Arboric., Montpellier, 1964, 220-226 (ref. Hort. Abstr. 36, 4359) |
| LEWIS, D. G.<br>QUIRK, J. P.                   | (1967) | Phosphor diffusion in soil and uptake by plants. IV. Computed uptake by model roots as a result of diffusive flow. Plant and Soil 26, 454-468                                                                                                  |
| MARSCHNER, H.                                  | (1968) | Aufnahme und Funktion von $K^+$ bei höheren Pflanzen. Wissenschaftl. Kali-Tagung Hannover 1968. Landwirtschaftl. Forschungsanstalt Bünthof 33-49                                                                                               |
| MARSCHNER, H.<br>HÄNDLEY, R.<br>OVERSTREET, R. | (1966) | Potassium loss and changes in the fine structure of corn tips induced by H-ion. Plant Physiol. 41, 1725-1735                                                                                                                                   |
| MARSCHNER, H.<br>MENGEL, K.                    | (1966) | Der Einfluß von Ca- und H-Ionen bei unterschiedlichen Stoffwechselbedingungen auf die Membranpermeabilität junger Gerstenwurzeln. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 112, 39                                                                |
| MATZNER, F.                                    | (1966) | Einfluß steigender Stickstoffgaben auf die Wurzelentwicklung von Apfelbäumen in Großgefäßen. Der Erwerbsobstbau 8/10, 185-188                                                                                                                  |
| MAY, P.<br>BECKER, E.                          | (1968) | Probleme der Kaliversorgung der Reben auf Lößböden. Sonderdruck aus: Der Deutsche Weinbau 23, Nr. 25                                                                                                                                           |

- |                                        |         |                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MENGEL, K.                             | (1962)  | Die K- und Ca-Aufnahme der Pflanze in Abhängigkeit vom Kohlenhydratgehalt ihrer Wurzel. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 98, 44                    |
|                                        | (1968a) | Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze, 3. Aufl. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart,                                                                      |
|                                        | (1968b) | Funktion und Bedeutung des Kaliums im pflanzlichen Stoffwechsel. Naturwissenschaftl. Rundschau H. 8, 332-336                                            |
| MENGEL, K.<br>FORSTER, H.              | (1968)  | Der Einfluß einer zeitlich variierten, unterbrochenen K-Ernährung auf Ertrags- und Qualitätsmerkmale von Gerste. Z. Acker- und Pflanzenbau 127, 317-326 |
| MENGEL, K.<br>GRIMME, H.<br>NEMETH, K. | (1969)  | Potentielle und effektive Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen im Boden, Landw. Forschung 23/1, Sonderheft, 79-91                                      |
| MENGEL, K.<br>PFLÜGER, R.              | (1969)  | Der Einfluß verschiedener Salze und verschiedener Inhibitoren auf den Wurzeldruck von Zea mays. Physiol. Plantarum 22, 840-849                          |
| MOHR, -.                               | (1967)  | Weinjahr 1967 außergewöhnlich reich an Besonderheiten, Der Deutsche Weinbau 22, 1013-1014                                                               |
| MORTLAND, M. M.                        | (1961)  | The dynamic character of potassium release and fixation, Soil Sci. 91, 11-13                                                                            |
| MULDER, D.                             | (1950)  | Mg-deficiency in fruit trees on sandy clay soils in Holland. Plant and Soil 2, 145-157                                                                  |
| MÜNZ, Th.                              | (1964)  | Die Bedeutung des Kaliums im Most und Wein. Kali-Briefe, Fachgeb. 5, 3, Folge                                                                           |
|                                        | (1967)  | Wie kann der natürliche Säureausgleich vom Most zum Wein praktisch beeinflusst werden? Deutsches Weinbaujahrbuch 1967, 197-200                          |

- |                                        |         |                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NEMETH, K.                             | (1969)  | Die K-, Mg- und Ca-Konzentration der Bodenlösung in den Horizonten einiger podsolierter Heideböden unter intensivem Getreideanbau. Kali-Briefe, Fachgeb. I, 7. Folge |
| NEMETH, K.<br>MENGEL, K.<br>GRIMME, H. | (1970)  | The concentration of K, Ca and Mg in the saturation extract in relation to exchangeable K, Ca and Mg. Soil Sci. 109, 179-185                                         |
| NIEDERBUDDE, E. A.                     | (1963a) | Beziehungen zwischen Kaliumfixierung und Bodenentwicklung am Beispiel von Lössen. Mitt. d. Dt. Bodenkundl. Gesellschaft Bd. I, 309-318                               |
|                                        | (1963b) | Kaliumfixierung, ihre Beeinflussung durch Kali-Düngung und K-Entzug. Kali-Briefe, Fachgeb. I, 6. Folge                                                               |
|                                        | (1965a) | Röntgenographische Untersuchungen zur Deutung von K-Fixierungsunterschieden in Lößböden mit Tonverlagerung. Mitt. d. Dt. Bodenkundl. Gesellschaft Bd. 4, 253-261     |
|                                        | (1965b) | Kaliumfixierung in Weinbergsböden und ihre Bedeutung für die Ernährung der Reben. Weinberg und Keller 12, 377-392                                                    |
| NIEDERBUDDE, E. A.<br>MARCKWORDT, U.   | (1964)  | Versuche zur Abgrenzung von austauschbarem gegen fixiertes Kalium mit Hilfe von K und Rb. Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Scheffer, Göttingen 1964, 41-58   |
| NIGGEMANN, J.                          | (1964)  | Inhaltsstoffe des Torfes und ihre Wirkungen in bodenkundlicher und pflanzenphysiologischer Sicht. Sonderdruck aus: Torfnachrichten 15                                |
| N. N.                                  | (1967)  | Trotz überstürztem Lesebeginn -Herbstmarktgeschehen einigermaßen ausgeglichen. Der Deutsche Weinbau 22, 947-948                                                      |

- |                                       |                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ØIEN, A.<br>SEMB, G.<br>STEENBERG, K. | (1959) Comparison of leaching and fixation of potassium and rubidium in soils using the isotopes K42 and Rb 86. Soil Sci. 88, 284-287                                                      |
| PEASLEE, D. E.<br>MOSS, D. N.         | (1966) Photosynthesis in K- and Mg-deficient maize (Zea mays L.) leaves. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30, 220-223                                                                            |
| PEER, P.                              | (1969) Persönliche Mitteilung                                                                                                                                                              |
| PFULB, K.                             | (1961) Behebung von starken Kalimangelerscheinungen an Jungbäumen durch Düngung. Kali-Briefe. Fachgeb. 10, 2. Folge                                                                        |
| PLACE, G. A.<br>BARBER, S. A.         | (1964) The effect of soil moisture and rubidium concentration on diffusion and uptake of rubidium-86. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28, 239-243                                               |
| PLATZ, R.                             | (1964) Die Trockenheit im Sommer 1964 und ihre möglichen Auswirkungen auf die Rebe. Der Deutsche Weinbau 20, 102                                                                           |
|                                       | (1966) Persönliche Mitteilung                                                                                                                                                              |
|                                       | (1967) Gedanken zu aktuellen Fragen der Bodenbearbeitung und Düngung im Weinbau. Sonderdruck aus: Pfälzer Bauer Nr. 1                                                                      |
|                                       | (1969) Qualitätsweinbau. Ratgeber für die Landwirtschaft. Heft Nr. 2<br>Herausgegeben von der Landwirtschaftl. Abteilung der Verkaufsgemeinschaft Deutscher Kaliwerke G. m. b. H. Hannover |
| POHL, H.                              | (1967) Rebumlegung und Vorratsdüngung an Kaiserstuhl und Tuniberg unter besonderer Berücksichtigung der Kalifrage. Der Deutsche Weinbau 22, 725-726                                        |

- REICHENBACH, H. GRAF v. (1957) Untersuchungen über Verteilung und Dynamik des Kaliums im Boden des Göttinger E-Feldes. Landwirtschaftswiss. Diss. Göttingen
- REICHENBACH, H. GRAF v.  
SCHRÖDER, D. (1960) Ein Vergleich verschiedener Methoden zur Bestimmung des Kaliumfestlegungsvermögens an einigen schleswig-holsteinischen Böden. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 90, 116-132
- RICH, C. I. (1964) Potassium exchange as affected by cation size, pH, and mineral structure. Soil Sci. 97, 384-390
- BLACK, W. R.
- RICHARDS, L. A. (1941) A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. Soil Sci. 51, 377-386
- RICHARDS, L. A. (1943) Pressure Plate Apparatus for Measuring Moisture Sorption and Transmission by Soils. Soil Sci. 56, 395-404
- FIREMAN, M.
- RICHARDS, G. E. (1963) Potassium fixation and release by clay minerals and soil clays on wetting and drying. Soil Sci. 95, 308-314
- MC LEAN, E. O.
- SCHARRER, K. (1958) Über den Kalium-Magnesium-Antagonismus bei Mais und Sonnenblumen. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 83, 149-162
- MENGEL, K.
- SCHÖNHALS, E. (1954) Die Böden Hessens und ihre Nutzung. Mit einer bodenkundlichen Übersichtskarte 1:300000. - Abh. hess. L.-Amt f. Bodenforsch. H. 2, 288 S., 25 Abb., 60 Tab. u. 15 Taf., Wiesbaden 1954
- SCHOUWENBURG, J. CH. van  
SCHUFFELEN, A. C. (1963) Potassium exchange behaviour of an illite. Neth. J. Agric. Sci. 11, 13-22

- SCHRADER, L. (1970) Eine kritische Betrachtung der Rebenchlorose unter bes. Berücksichtigung bodenkundlicher und pflanzenphysiologischer Gesichtspunkte. Weinberg und Keller 17, 113-130
- SCHROEDER, D. (1955) Kristallaufbau und Eigenschaften der Tonminerale. Kali-Briefe. Fachgeb. I, 17. Folge
- SCHULTE-KARRING, H. (1966) Die Untergrundlockerung und Tiefendüngung. Arbeitstagung über Unterboden- und Tiefenbearbeitungsmaßnahmen vom 10. - 12. Okt. 1966 in Ahrweiler. Forschungsrat für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
- (1967) Achtjährige Untersuchungsergebnisse über die Auswirkung der Tiefendüngung in untergrundgelockerten Staunäsböden. Arbeitstagung über Unterboden- und Tiefenbearbeitungsmaßnahmen am 1. und 2. März 1967 in Gießen. Forschungsrat für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
- (1968) Die Melioration der strukturkranken Weinbergsböden. Die Unterbodenmelioration. Auszug aus dem Zweijahresbericht der Landes-Lehr- und Versuchsanstalt Ahrweiler 109-127
- (1969) Die Durchführung der Unterbodenmelioration im Weinbau und Maßnahmen zur Erhaltung ihrer Wirksamkeit. 9. Arbeitstagung des Forschungsrings des Deutschen Weinbaues bei der DLG vom 22. 4. - 24. 4. 1969 in Ahrweiler
- SCHWERDT, K. (1961) Düngungserfolge durch Kali auf hessischen Lößlehm Böden. Landw. Forschung 14, 160-167
- JESSEN, W.
- SCHWERTMANN, U. (1968) Neuere Ergebnisse über das Verhalten des Kaliums im Boden. Wissenschaftl. Kali-Tagung Hannover 1968. Landwirtschaftl. Forschungsanstalt Bünthof, 51-64

- |                                     |        |                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SIEGEL, O.<br>BJARSCH, H. -J.       | (1962) | Über die Wirkung von Chlorid- und Sulfationen auf den Stoffwechsel von Tomaten, Sellerie und Reben. II. Der Einfluß auf die Trockensubstanz- und Kohlenhydratbildung sowie den Ascorbinsäuregehalt. Gartenbauwiss. 27, 103-118 |
| SPANSWICK, R. W.<br>WILLIAMS, E. J. | (1964) | J. Exp. Bot. 55, 193 (zit. n. MENGEL 1968a)                                                                                                                                                                                    |
| STURM, H.<br>BEETZ, J. K.           | (1968) | Aktuelle Düngungsfragen im Weinbau. Sonderdruck aus: Der Deutsche Weinbau 23                                                                                                                                                   |
| SUMNER, M. E.<br>BOLT, G. H.        | (1962) | Isotopic exchange of potassium in an illite under equilibrium conditions. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 26, 541-544                                                                                                              |
| STUTZ, E.                           | (1962) | Biochemische Probleme aus dem Obst- und Weinbau. Einige Funktionen des Kaliums im Blattstoffwechsel. Schweiz. Z. f. Obst- und Weinbau 71, 287-289                                                                              |
| TODORCIC, B.                        | (1964) | Über den Kaliumhaushalt und das Verhalten des Kaliums in tonhaltigen Böden Ostslawoniens und Baranjas. Landwirtschaftswiss. Diss. Göttingen                                                                                    |
| TRIBUTH, H.                         | (1967) | Die Bedeutung der erweiterten Tonfraktionierung für die genauere Kennzeichnung des Mineralbestandes und seiner Eigenschaften. Landwirtschaftswiss. Diss. Gießen                                                                |
| TRIEB, G.<br>BECKER, H.             | (1969) | Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Unterlagen auf die mineralische Ernährung des Edelreises. Die Wein-Wissenschaft 24, 258-266                                                                                      |
| ULRICH, A.                          | (1942) | K-content of grape leaf petioles and blades contrasted with soil analyses as an indicator of the K-status of the plant. Amer. Soc. Hort. Sci. Proc. 41, 204-212                                                                |

- |                                           |        |                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| WAGNER, P.                                | (1907) | Forschungen auf dem Gebiet der Weinbergdüngung. Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin                                                                                                                               |
| WALLACE, T.                               | (1930) | Experiments on the manuring of fruit trees. 3: The effect of deficiencies of K, Ca, Mg; respectively, on the contents of these elements and of P in the shoot and trunk regions of apple trees. J. Pomology 8, 23-43 |
|                                           | (1931) | Chemical investigations relating to potassium deficiency of fruit trees. J. Pomology 9, 111-121                                                                                                                      |
| WALTER, B.                                | (1970) | Mineraldüngung der Reben an Mosel, Saar und Ruwer. Der Deutsche Weinbau 25, 222-224                                                                                                                                  |
| WEAR, J. I.<br>WHITE, J. L.               | (1951) | Potassium fixation in clay minerals as related to crystal structure. Soil Sci. 71, 1-14                                                                                                                              |
| WILHELM, A. F.                            | (1950) | Zur Kenntnis der Kalimangelercheinungen bei der Weinrebe, <i>Vitis vinifera</i> L. Phytopath. Z. 17, 240-265                                                                                                         |
|                                           | (1954) | Magnesiummangel bei der Weinrebe. Kali-Briefe. Fachgeb. 5, 1. Folge                                                                                                                                                  |
|                                           | (1964) | Die Kälteresistenz der Rebe in Abhängigkeit von der Kaliversorgung. Die Wein-Wissenschaft 19, 505-517                                                                                                                |
| YORK, E. T.<br>BRADFIELD, R.<br>PEECH, M. | (1953) | Calcium-Potassium interactions in soils and plants. Soil Sci. 76, 379-387                                                                                                                                            |
| ZAKOSEK, H.                               | (1961) | Die Weinbergsböden. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 93, 38-43                                                                                                                                                  |



Dem Direktor des Institutes für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus Liebig-Universität, Gießen, meinem verehrten Lehrer Herrn Professor Dr. E. Schönhals, möchte ich für die Überlassung des Themas sowie die förderliche Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit und deren kritische Durchsicht danken.

Mein Dank gilt weiterhin Herrn Professor Dr. W. Gruppe, Direktor des Institutes für Obstbau, der Justus Liebig-Universität, Gießen, für wertvolle Anregungen und Ratschläge hinsichtlich der Feld- und Gefäßversuche.

Dank sagen möchte ich auch Herrn Professor Dr. K. Mengel, Leiter der Landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Bünthof, Hannover-Kirchrode, für viele wichtige Hinweise auf dem Gebiete der Pflanzenernährung und seine tatkräftige Unterstützung.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. E. Homrighausen für seine ständige Hilfsbereitschaft, klärende Diskussionen und die Einführung in die bodenkundlichen Probleme des Weinbaues.

Ebenso geht mein Dank an die Praktiker Herrn E. Doppler, Essingen und Herrn G. Linder, Worms-Abenheim, welche durch die Bereitstellung der Rebanlagen die Feldversuche bzw. durch die Überlassung von Pfropfbäumen die Gefäßversuche ermöglichten.

Schließlich möchte ich allen Angehörigen des Institutes für Bodenkunde und Bodenerhaltung für Rat und Hilfe und die stets gute Zusammenarbeit danken.



## LEBENS LAUF

Am 23. 12. 1940 wurde ich, Matthias Budig, als Sohn des Meteorologen Dr. Hans Budig und seiner Ehefrau Lena, geb. Marcus, in Jena/Thür. geboren.

Von 1947 bis 1951 besuchte ich die Volksschule in Dietershausen/Kr. Fulda, anschließend die Gymnasien in Fulda und Geisenheim/Rhg., wo ich im Frühjahr 1960 die Reifeprüfung ablegte.

Die 2jährige Landwirtschaftslehre absolvierte ich in Erbach/Rhg. und Rodheim v. d. H. und erwarb im Frühjahr 1962 den Gehilfenbrief.

Zum Sommer-Semester 1962 nahm ich das Studium der Landwirtschaft an der Justus Liebig-Universität in Gießen auf und legte nach 8 Semestern im Mai 1966 die Diplomprüfung ab. Seit September 1966 bin ich am Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung u. a. mit der Anfertigung der vorliegenden Arbeit beschäftigt.









FOTO-DRUCK LENZ · 63 Gießen · Riegelpfad 32/Ecke Ludwigstraße  
Telefon 0641-77449